



Mitteilungen aus dem Institut für Baustoffkunde und  
Materialprüfung der Technischen Hochschule Braunschweig  
Direktor o. Professor Dr.-Ing. habil. Th. Kristen

Untersuchung von Blähton auf seine  
Verwendbarkeit im Bauwesen

Von

Th. Kristen und R. Czech

Januar 1955

DK 666.972.125.5.0015

# Inhaltsübersicht

	<u>Seite</u>
<u>1. Einleitung</u>	1
<u>2. Die Untersuchung der für die Herstellung des Blähtonbetons verwendeten Materialien</u>	2
<u>2.1 Blähton</u>	2
2.11 Allgemeines	2
2.12 Beschreibung des Materials	3
2.13 Kornzusammensetzung	3
2.14 Bestimmung des Raumgewichts (Rohwichte)	5
2.15 Kornform des Blähtons	6
2.16 Chemische Zusammensetzung des Blähtons und Untersuchung auf betonschädliche Bestandteile	8
<u>2.2 Bindemittel</u>	10
2.21 Erstarren	10
2.22 Raumbeständigkeit	10
2.23 Festigkeit	10
2.24 Raumgewicht	11
2.25 Mahlfeinheit	11
<u>2.3 Untersuchung des verwendeten Wassers</u>	11
<u>2.4 Untersuchung der verwendeten Sande bzw. Kiessande</u>	12
<u>3. Druckfestigkeitsversuche</u>	12
<u>3.1 Einkornbeton aus Blähton</u>	12
<u>3.2 Beton mit geschlossenem Gefüge</u>	14
<u>3.3 Versuche mit gerütteltem Beton</u>	18
<u>3.4 Versuche mit Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz</u>	22
<u>3.5 Folgerungen aus 3.1 bis 3.4</u>	27
<u>4. Sonderversuche</u>	28
<u>4.1 Prüfung auf Schwinden und Quellen</u>	28
<u>4.2 Prüfung auf Wasseraufnahme, Wasserabgabe und Wasseraufsaugfähigkeit</u>	35
<u>4.3 Prüfung des Wärmeleitvermögens</u>	42
<u>4.4 Prüfung auf Frostbeständigkeit</u>	44
<u>4.5 Bestimmung der Elastizitätsmodule</u>	48

	<u>Seite</u>
<u>5. Zusammenfassung</u>	51
1. Einkornbeton	52
2. Beton mit geschlossenem Gefüge	53
3. Versuche mit gerütteltem Beton	55
4. Versuche mit Beton aus Kiessand mit Blähton- zusatz	55
5. Sonderversuche	55



## 1. Einleitung

In den nordischen Ländern, besonders in Dänemark, wird seit längerer Zeit ein hochwertiger Leichtbetonzuschlagstoff aus gebranntem, aufgeblähtem Ton "Blähton" genannt, hergestellt. Die ersten Versuche gehen auf den Dänen E.C. Bayer zurück, die dann durch den Schweden Lindmann, dem es gelang ein geeignetes Brennverfahren zu entwickeln, fortgesetzt wurden. In Deutschland haben sich mit "Blähton" die Herren Weißwange 1), Schneevoigt 2) und Hummel 3) befaßt. Während Weißwange ungeformten, gebrannten deutschen Ton untersuchte, haben Schneevoigt und Hummel Versuche mit dänischem Blähton durchgeführt. Die Herstellung des Blähtones, in Dänemark auch "Klinkerbeton" bzw. "Leca-Beton" (leichte expandierte ceramische Aggregate) genannt, setzt ein Tonvorkommen mit gewissen chemischen und physikalischen Eigenschaften voraus.

Der Herr Niedersächsische Minister für Wirtschaft und Verkehr, der grosses Interesse für diesen dänischen Blähton zeigte, erteilte am 2. Februar 1952 dem Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung einen Forschungsauftrag dahingehend, größere Tonvorkommen im Norden Niedersachsens auf ihre Geeignetheit für Herstellung von Blähton zu untersuchen. Die Anregung ging von Herrn Hermann Ihlefeld, Hackemühlen/Basbeck aus, der seinen Ton in Dänemark schon hatte analysieren und mit dem dortigen Ton vergleichen lassen. Nach der Analyse glaubten die dänischen Herren, daß sich dieser deutsche Ton zu Blähton wahrscheinlich gut eignen werde. Am 25. Mai 1952 wurden aus einer Tongrube in der Gemarkung Heesel, Bezirk Stade, 150 t Ton in Anwesenheit eines Herren des Braunschweiger Instituts entnommen, in ein Schiff verladen und nach Kongstrup bei Kalundborg (Dänemark) gesandt, da in der Deutschen Bundesrepublik nicht die Möglichkeit zum Brennen und Aufblähen des Tones besteht.

- 1) (ungeformter gebrannter Ton als Zuschlag für Mörtel und Beton. Mitteilungen für Straßenbau der Technischen Hochschule Braunschweig, Heft 5 - 1930 -),
- 2) (Leichtbeton mit aufgeblähtem Ton als Zuschlagstoff. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe B, Heft 2 - 1943 - S.34 ),
- 3) ("Leichtbeton aus Blähton" - Fortschritte und Forschungen im Bauwesen, Reihe B).



Am 1. Juli 1952 wurde der Ton im Beisein eines Herrn des Braunschweiger Instituts in der Leca-Fabrik der Fa. Lemvigk-Müller und Munk Akts. Kopenhagen in Kongstrup bei Kalundborg gebrannt. Die dänischen Herren waren sehr entgegenkommend und zeigten an diesen Versuchen das größte Interesse. Die aus diesem Material gewonnenen ca. 60 m<sup>3</sup> Blähton wurden dann am 2. Juli 1952 nach Osten Bez. Stade verschifft und von dort nach Braunschweig weiterbefördert. Ankunft des Materials in Braunschweig am 23. Juli 1952. Im Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung wurden mit diesem Blähton Leichtbetone verschiedener Güteklassen hergestellt und auf Druckfestigkeit, Schwinden und Quellen, Wasseraufnahme, Wasserabgabe sowie Wasseraufsaugfähigkeit, Wärmeleitzahl, Elastizitätsmodul und Frostbeständigkeit untersucht.

## 2. Die Untersuchung der für die Herstellung des Blähtonbetons verwendeten Materialien

### 2.1 Blähton

#### 2.11 Allgemeines

Der von Deutschland nach Dänemark überführte Ton wurde in der Fabrik der Firma Lemvigk-Müller & Munk Akts., Kopenhagen, zu Blähton gebrannt.

Die Aufbereitung des Tones in dieser Fabrik vor dem Brennen ist einfach und erfordert nur einen geringen Maschinenpark. Der Ton kommt zunächst in eine Aufgabe, in der ein grobes Durchkneten mit anschließender Zugabe von Sulfitablauge stattfindet. Nach dem anschließenden Kollern wird der Ton mit einer Presse einem Tonschneider zugeführt, der ihn in kleine Scheiben zerkleinert. Das so vorbereitete Material fällt auf ein Förderband, mit dem er dem Drehofen zugeführt wird. Im Drehofen erfolgt in der Vorwärmezone eine Zerkleinerung der Tonpatzen. Durch die Neigung und Drehung des Ofens entstehen aus den einzelnen Tonteilchen allmählich kleine runde Kügelchen, die sich langsam in Richtung der Brennzone vorwärtsbewegen. In der Brennzone werden die nunmehr aufgeblähten Kugeln bei einer Temperatur von etwa 1100° C gebrannt und erhalten dabei eine dichte Oberflächenhaut. Die Heizung des Ofens erfolgt mit Kohlenstaub und Öl.

Das aus dem Ofen anfallende Material wird gesiebt und in Silos befördert. Größere im Ofen zusammengebackene Klumpen und Körner über 30 mm werden erst noch gebrochen. Die dichte Oberflächenhaut geht bei diesem Material verloren.

Der aus dem deutschen Ton erbrannte Blähton wurde während des 13-stündigen Brennversuches viertelstündlich im heißen Zustande auf Raumgewicht und Farbe untersucht. Die Raumgewichte sollen hier nicht angegeben werden, da die Bestimmung ziemlich roh in einem 10 Topf durchgeführt wurde und sie lediglich der dänischen Betriebsführung, die den deutschen Ton erstmalig brannte, für die Ermittlung der günstigsten Ofenführung diente. Die Umdrehungsgeschwindigkeit des Ofens und die Brenntemperatur wurden nach den ermittelten Raumgewichten, der Farbe des anfallenden Materials und nach dem Aussehen des Ofeninhalts geregelt.

#### 2.12 Beschreibung des Materials

Die Farbe des bei der Firma Lemvigk-Müller & Munk Akts. aus deutschem Ton gebrannten "Blähtons" war graubraun bis rötlichbraun. Das Material wurde im Gegensatz zum dänischen ungesiebt und ungebrochen zum Versand gebracht.

#### 2.13 Kornzusammensetzung

Aus dem gesamten Blähtonmaterial wurden 12 Proben à 5 kg an verschiedenen Stellen entnommen, das Korn über 30 mm war bei den 5 kg vorher abgesiebt. Bei der Aufstellung der Sieblinien mit dem Graf'schen Siebsatz ergab sich, daß die Korngruppe 0 bis 0,2 mm vollständig fehlte und von der Korngruppe 0,2 bis 1 mm und 15 bis 30 mm nur sehr wenig Material vorhanden war. Die Werte der Siebproben lagen in dem schraffiert eingezeichneten Bereich (s. Abb. 1 und Tafel 1). Dann wurde das gesamte Blähtonmaterial zur späteren Herstellung des Blähtonbetons in die Korngruppen 0,2 - 1 mm, 1 - 3 mm, 3 - 7 mm, 7 - 15 mm und 15 - 30 mm zerlegt.



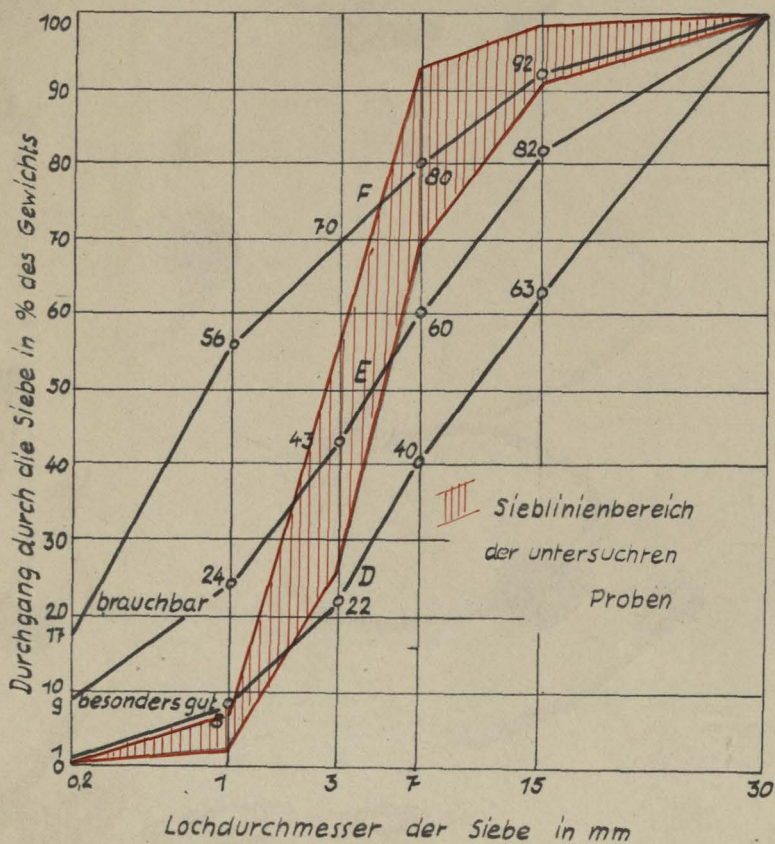
T a f e l 1

Kornzusammensetzung des untersuchten Blähtons

Korngruppe mm	Anteile in Gewichts-% der beiden Grenzsieblinien			
	einzel	Summe	einzel	Summe
0 - 0,2	-	-	-	-
0,2 - 1	3	3	7	7
1 - 3	24	27	48	55
3 - 7	42	69	38	93
7 - 15	22	91	5	98
15 - 30	9	100	2	100
Summe	100	-	100	-

Abb. 1

Sieblinienbereich des untersuchten  
Blähtons





## 2.14 Bestimmung des Raumgewichts (Rohwichte)

Die Raumgewichte der einzelnen Korngruppen im getrockneten Zustand sind im eingelaufenen und eingerüttelten Zustande in die Tafel 2 eingetragen. Außerdem ist das Material nach der E-Kurve nach DIN 1045, § 5,4 b zusammengesetzt, wenn- gleich diese Schwerbetonkurve für Leichtbeton, also auch für Blähtonbeton nicht eine Idealkornzusammensetzung dar- stellt. Die Raumgewichte finden sich ebenfalls in der Tafel 2.

T a f e l 2

Blähton-Raumgewichte im trockenem Zustand

Korngruppe in mm	Raumgewicht in g/l	
	eingelaufen	eingerüttelt
0,2 - 1	830	1046
	835	1021
	850	1036
	i.M. 838	1034
1 - 3	684	799
	686	799
	680	796
	i.M. 683	798
3 - 7	514	586
	504	586
	509	590
	i.M. 509	587
7 - 15	421	496
	429	482
	423	485
	i.M. 424	487
15 - 30	380	449
	384	448
	389	429
	i.M. 384	442
Sieblinie E	661	777
	652	761
	656	779
	i.M. 656	772

### 2.15 Kornform des Blähtons

Die Kornform des im Drehofen erbrannten Blähtons ist unterschiedlich. Vorwiegend herrscht die rundliche Kornform mit glatter dichter Oberfläche vor (Abb. 2), aber auch andere willkürliche Kornformen mit zerklüfteter Oberfläche sind vorhanden (Abb. 3). Alle Körner sind mit einer glasartigen Haut überzogen, die eine größere Dichtigkeit als das Korninnere aufweist. Die Wasseraufnahme des Blähtons ist verhältnismäßig gering. Körner der Abb. 2 schwammen monatelang auf dem Wasser, während Körner nach Abb. 3 nach einiger Zeit untersanken.

Abb. 2

Kugeliges Blähton-Material  
(natürliche Größe)



Abb. 3

Zerklüftetes Blähton-Material  
(natürliche Größe)



Das Korngefüge ist aus Abb. 4 zu ersehen. Das Material ist stark porig, die Porengröße ist verschieden. Im Korninnern finden sich Risse und kleine zusammenhängende Zerklüftungen.

Abb. 4

Korngefüge von Blähton  
(natürliche Größe)





2.16 Chemische Zusammensetzung des Blähtons und  
Untersuchung auf betonschädliche Bestandteile

Für die chemische Untersuchung wurden eine dunkle graubraune und eine hellere, rötlichbraune Probe entnommen. Nach der Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit und anschließender Trocknung bei  $105^{\circ}\text{C}$  bis zur Gewichtskonstanz erfolgte die quantitativ chemische Untersuchung. Die Mittelwerte aus jeweils vier gut übereinstimmenden Einzelwerten sind in Tafel 3 eingetragen.

Tafel 3

Chemische Zusammensetzung des Blähtonmaterials  
(s. S. 9)

T a f e l 3  
Chemische Zusammensetzung des Blähtonmaterials

Bestandteil	Blähton hell Gehalt		Blähton dunkel in Gew.-%	
Glühzunahme	0,30		0,12	
HCl-Unlösliches	97,92		97,50	
Aufschluß des HCl-Unlöslichen				
Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ )		64,21		65,03
Sesquioxyde ( $\text{R}_2\text{O}_3$ )		28,36		29,09
Kalziumoxyd ( $\text{CaO}$ )		2,79		1,14
Magnesiumoxyde ( $\text{MgO}$ )		1,98		1,21
Sulfat ( $\text{SO}_3$ )		0,36		0,98
Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )		9,68		9,37
Alkalien u. Rest		0,22		0,05
lösliche Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ )	0,08		0,11	
Sesquioxyde ( $\text{R}_2\text{O}_3$ )	0,88		0,82	
Kalziumoxyd ( $\text{CaO}$ )	0,25		0,21	
Magnesiumoxyd ( $\text{MgO}$ )	0,36		0,14	
Sulfat ( $\text{SO}_3$ )	0,19		1,07	
Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,28		0,13	
Alkalien und Rest	0,32		0,15	
Summe	100,00		100,00	

Die halbquantitative Untersuchung mit 3%iger Natronlauge ergab bei beiden Proben keine Verfärbung, so daß beton-schädliche organische, humusartige Bestandteile im Ton nicht enthalten sind. Auch wasserlösliche Sulfide, Sulfate, Nitrate, Chloride, Ammonium- und Magnesiumverbindungen waren nicht vorhanden, wie die Untersuchung der wässerigen Auszüge, die durch Kochen von unzerkleinertem Blähtonmaterial erhalten wurden, zeigte.

## 2.2 Bindemittel

Der für die Versuche verwendete, aus dem Handel bezogene Z 225 zeigte die nachstehenden Eigenschaften.

### 2.1 Erstarren

Die Prüfung des Erstarrens ergab die in Tafel 4 zusammengestellten Werte.

T a f e l 4

Zementprobe	Wasserbedarf	Erstarrungsbeginn	Erstarrungs- ende
Z 225	26	4 Std. 37 Min.	6 Std. 39 Min.

### 2.22 Raumbeständigkeit

Die normengerecht angefertigten Kuchen bestanden den Kochversuch und den Kaltwasserversuch, sie blieben scharfkantig, rissefrei und zeigten keine Verkrümmung.

### 2.23 Festigkeit

Die nach DIN 1164 hergestellten und gelagerten Probekörper (Prismen 4 x 4 x 16 cm) wurden im Alter von 7 und 28 Tagen auf Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit geprüft. Die Ergebnisse sind in Tafel 5 eingetragen. Das Ausbreitmaß des Frischmörtels betrug 17,8 cm.

T a f e l 5

Druck- und Biegezugfestigkeiten  
des verwendeten Zementes

Versuch Nr.	Biegezugfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>		Druckfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	
	nach 7 Tagen	nach 28 Tagen	n. 7 Tg.	n. 28 Tg.
1	58	81	290 275	432 430
2	62	80	278 288	437 422
3	59	79	280 294	427 424
Mittel	60	80	284	429



Nach den Ergebnissen der 7 und 28-Tage-Festigkeit handelte es sich um einen Z 325. Die daraufhin nachträglich festgestellten Werte nach 3 Tagen ergaben einen Z 225.

#### 2.24 Raumbgewicht

Die Litergewichte wurden eingelaufen zu 1184 g und eingerüttelt mit 1683 g ermittelt.

#### 2.25 Mahlfeinheit

Der Rückstand auf dem Sieb 0,09 DIN 1171 (4900 Maschen je cm<sup>2</sup>) betrug 9,1 Gewichts-% (DIN 1164  $\leq$  20 %).

#### 2.3 Untersuchung des verwendeten Wassers

Das Wasser wurde der Braunschweiger Trinkwasserleitung entnommen. Die Untersuchung des Wassers ergab die in der nachfolgenden Tafel 6 aufgeführten Werte.

T a f e l 6

Bezeichnung der Probe	Braunschweiger Wasser
Geruch und Geschmack	geruch- u. geschmacklos
Aussehen, Farbe	klar
Reaktion gegen Lackmus	neutral
P <sub>H</sub> -Wert	7,00
geb. Schwefelsäure als SO <sub>3</sub> (mg/l)	160,00
geb. Chlor als Cl (mg/l)	134,74
Gesamthärte (d.H. <sup>o</sup> )	23,10
Karbonathärte (d.H. <sup>o</sup> )	10,90
bleibende Härte (d.H. <sup>o</sup> )	12,20
aggressive Kohlensäure CO <sub>2</sub> (mg/l)	0
Kaliumpermanganatverbrauch (mg/l)	8,53
Ammonium ((NH <sub>4</sub> ) <sup>+</sup> )	0
Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0
Sulfid (S <sup>2-</sup> )	0
Magnesium (Mg <sup>2+</sup> )	0

Bei dem Braunschweiger Trinkwasser handelt es sich um ein neutrales, hartes Wasser, das 160 mg/l gebundene Schwefelsäure ( $\text{SO}_3$ ) und 134,74 mg/l gebundenes Chlor (Cl) enthält. Es ist als Anmachwasser für Beton geeignet.

#### 2.4 Untersuchung der verwendeten Sande bzw. Kiessande

Für die Versuche unter Punkt 3 wurden auch Sande und Kiessande verwendet. Die aufschl ä m m b a r e n Bestandteile lagen zwischen 0,5 bis 0,9 Gew.-% und waren in feiner Verteilung beigemengt (nach DIN 1164  $\leq 3\%$ ). Die Untersuchung mit 3%iger Natronlauge ergab eine hellgelbe Verfärbung, so daß betonschädliche organische, humusartige Bestandteile nicht vorhanden waren. Auch die qualitativ chemische Analyse auf schädliche anorganische Säuren und Salze ergab keine Sulfide, Sulfate, Nitrate, Chloride, Ammonium- und Magnesiumverbindungen. Das Zuschlagmaterial ist daher für Beton geeignet.

### 3. Druckfestigkeitsversuche

Die nachfolgend unter Punkt 3.1 bis 3.4 aufgeführten Untersuchungen wurden durchgeführt, um geeignete Mischungsverhältnisse und Kornzusammensetzungen für Betone der Güteklasse 30, 50, 160 und evtl. 225 zu finden.

#### 3.1 Einkornbeton aus Blähton

Es wurden Einkornbetone mit den Korngruppen 0 - 3 mm, 3 - 7 mm und 7 - 15 mm hergestellt. Vorversuche hatten ergeben, daß ein Zementgehalt über 200 kg Zement auf 1 m<sup>3</sup> fertigen Beton sich betontechnisch ungünstig auswirkte und unwirtschaftlich war. In Tafel 7 sind die durchgeführten Versuchsreihen eingetragen.

#### T a f e l 7

Versuchsreihen mit Einkorn-  
Blähtonbeton

(s. S. 13)

T a f e l 7

Versuchsreihen mit Einkorn-  
Blähtonbeton

Reihe	Korngruppe mm	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup> f.B.
A I 1	0 bis 3	100
2		150
3		200
A II 1	3 bis 7	100
2		150
3		200
A III 1	7 bis 15	100
2		150
3		200

Bei der Herstellung der Probewürfel von 20 cm Kantenlänge wurde der Blähton zuerst mit einer abgewogenen Wassermenge angefeuchtet, kurze Zeit liegen gelassen und nach Zugabe des Zementes sowie des Wassers kräftig durchgemischt (Konsistenz: steifer Beton). Der Frischbeton wurde in die Würfelformen eingefüllt, 24 Stunden lang mit feuchten Tüchern abgedeckt, dann entformt und bis zum Alter von 7 Tagen feucht gehalten. Die restlichen 21 Tage bis zum Prüftermin (28 Tage) lagerten die Würfel in Zimmertemperatur von etwa 20° C bei 65% relativer Luftfeuchtigkeit.

In der Tafel 8 sind die Mischungsverhältnisse, Zementgehalte, Raumgewichte und Druckfestigkeitswerte eingetragen. Die Abb. 5 zeigt die Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Raumgewicht und Zementgehalt.

Von jeder Versuchsreihe wurde ein zusätzlich angefertigter Würfel mit einem Zementgehalt von 200 kg/m<sup>3</sup> fert. Beton zersägt und fotografiert, um die Struktur zu zeigen (s. Abb. 6, 7 und 8)

T a f e l 8

(s.S. 14)



- 14 -  
T a f e l 8

Reihe	Zement- gehalt kg/m <sup>3</sup>	Korn- gruppe mm	Mischgs- verhältn. (Gtl.)	Wasser- Zement- verh.	Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>		Druckfestigkeit in <sup>W</sup> 28 <sup>2</sup> in kg/cm <sup>2</sup>	
					Frisch- beton	n. 28 Tg.	Einzel- werte	Mittel- werte
A I	1 106	0 - 3	1 : 5,6	2,30	946	861	18/17/15	17
	2 164		1 : 3,5	1,34	962	886	22/17/18	19
	3 211		1 : 2,7	1,07	1007	922	29/29/28	29
A II	1 103	3 - 7	1 : 4,5	1,96	767	734	17/16/17	17
	2 157		1 : 3,0	1,35	838	804	26/27/26	26
	3 208		1 : 2,3	1,10	916	871	42/40/40	41
A III	1 100	7 - 15	1 : 4,2	1,64	688	638	13/12/11	12
	2 155		1 : 2,7	1,16	754	720	17/16/18	17
	3 199		1 : 2,0	0,94	784	767	23/24/24	24

### 3.2 Beton mit geschlossenem Gefüge

Für die folgenden Versuche wurden die Sieblinien 3 und 4 für Ziegelbrechgut 0 - 15 mm und eine dazwischen liegende Linie des "Merkblattes für die Herstellung von Ziegelsplittbeton" (s. Wedler-Hummel Trümmerverwertung S. 144, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn) gewählt. Die Korngruppen 0 bis 0,2 mm und 0,2 bis 1 mm wurden durch Natursand ersetzt, da sie im Blähton nicht in ausreichender Menge vorhanden waren. Dasselbe gilt für die Korngruppe 15 - 30 mm.

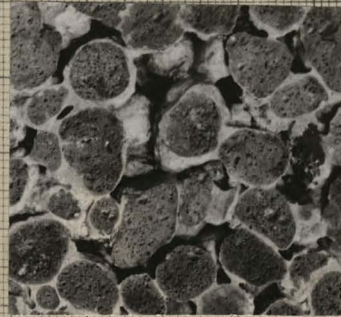
In der Tafel 9 sind die Anteile der einzelnen Korngruppen dieser Sieblinien zusammengestellt und in Abb. 9 aufgezeichnet. Die Bezeichnung der Sieblinien entspricht der jeweiligen in der Tafel 10 eingetragenen Versuchsreihe.

Tafel 9 und Abb. 9  
(s. Seite 17 )



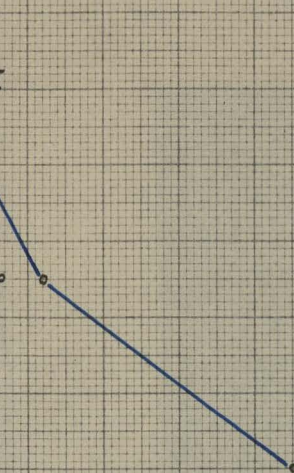
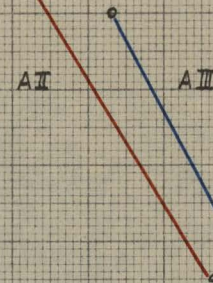
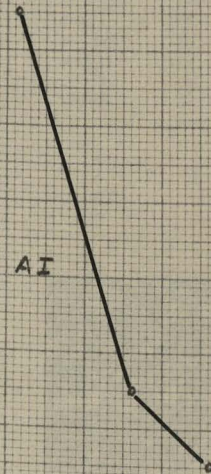
A 4 210 x 297 mm

# Blähtonbeton (Einkorn)

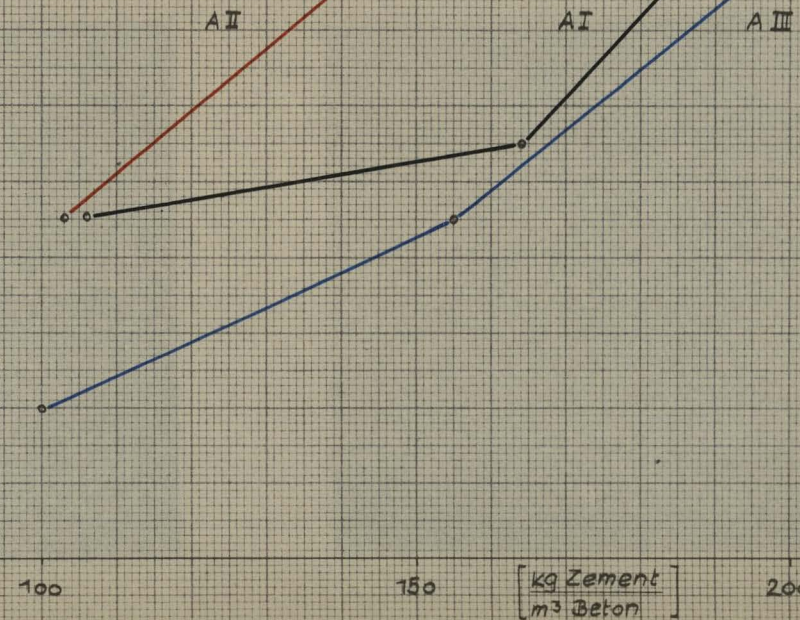


AI Beton aus Blähton 0-3 mm  
AII Beton aus Blähton 3-7 mm  
AIII Beton aus Blähton 7-15 mm

## Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Raumgewicht und Zementgehalt



$w_{28} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$   
2.0  
3.8  
3.6  
3.4  
3.2  
3.0  
2.8  
2.6  
2.4  
2.2  
2.0  
1.8  
1.6  
1.4  
1.2  
1.0



Rohwichte normalfeucht

0.90  
0.80  
[kg/dm³]  
0.70

100  
150  
[kg Zement / m³ Beton]  
200

Abb. 5  
-15



Abb. 6

Blähtonbeton (Einkorn)  
0 - 3 mm

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f.B.  
Versuchsreihe A I 3

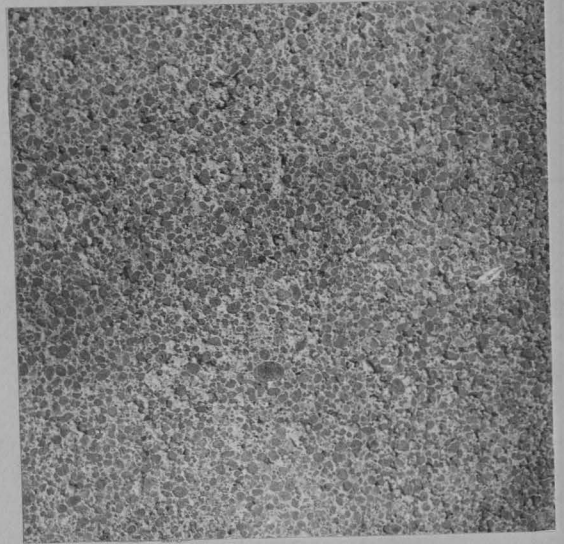


Abb. 7

Blähtonbeton (Einkorn)  
3 - 7 mm

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f.B.  
Versuchsreihe A II 3

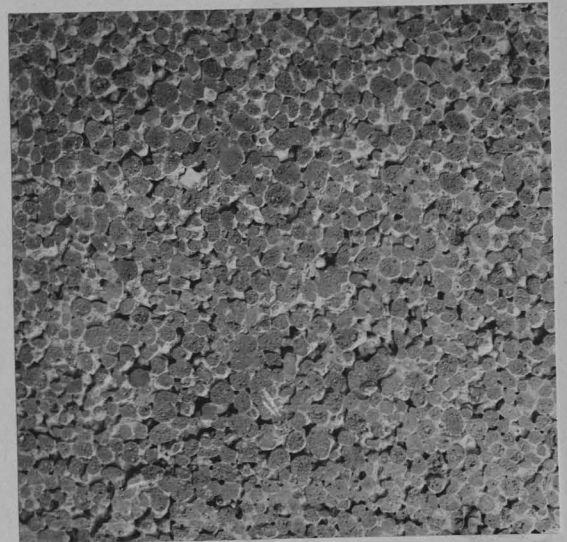
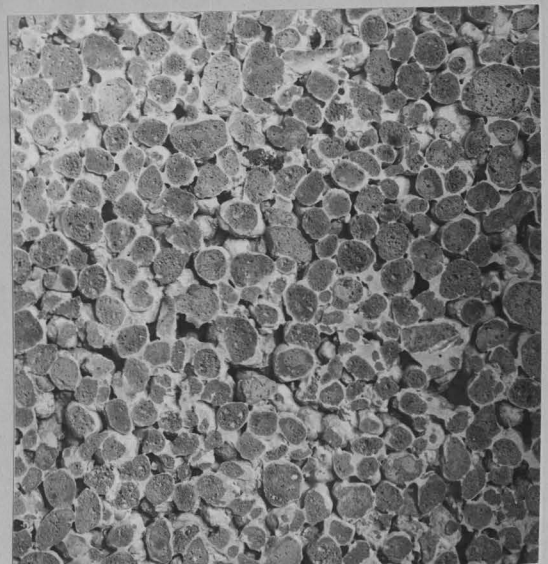


Abb. 8

Blähtonbeton (Einkorn)  
7 - 15 mm

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f.B.  
Versuchsreihe A III 3



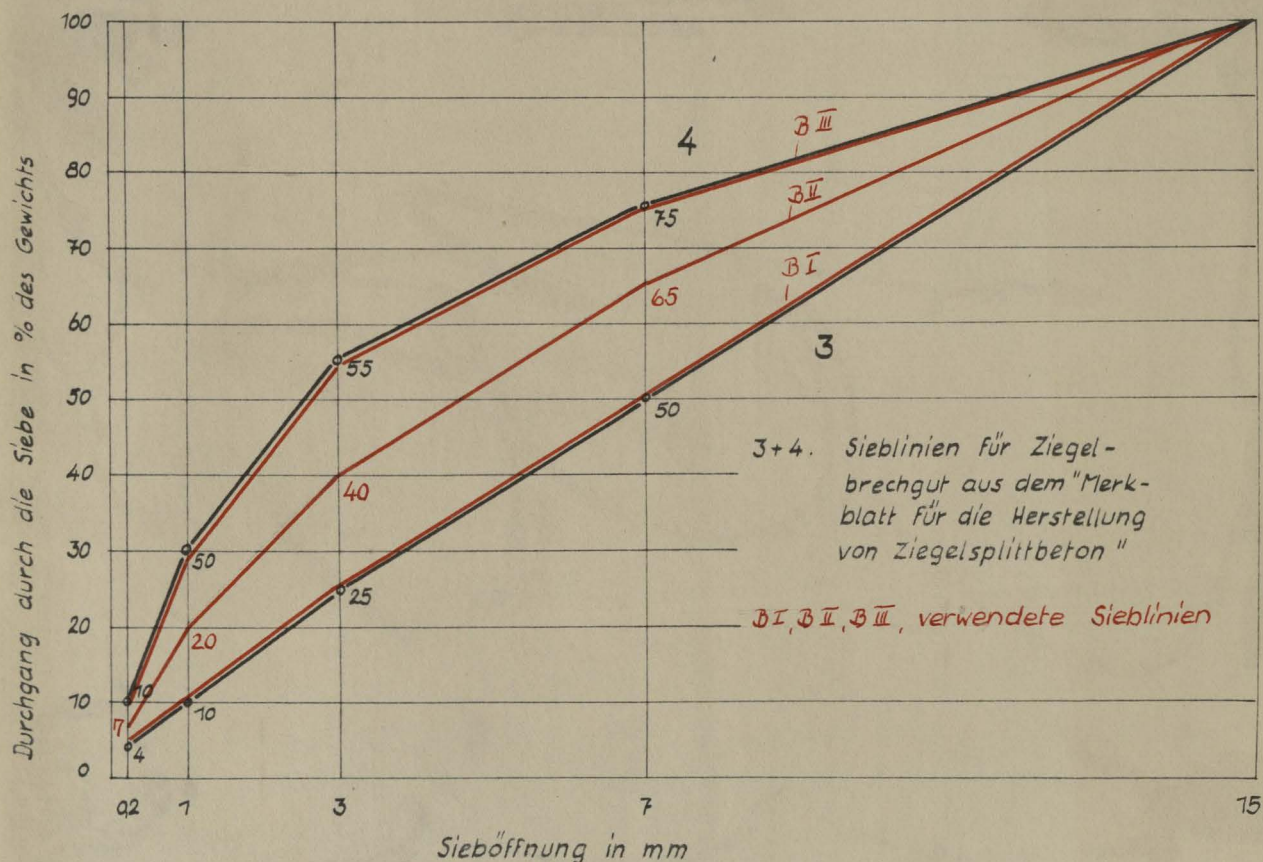
Maßstab 1 : 2



T a f e l 9

Material	Korngruppe mm	Anteil in Gew.-% bei den Sieblinien					
		B I		B II		B III	
		einzel	Summe	einzel	Summe	einzel	Summe
Betonfeinsand	0 - 0,2	4	4	7	7	10	10
Betonfeinsand	0,2 - 1	6	10	13	20	20	30
Blähton	1 - 3	15	25	20	40	25	55
Blähton	3 - 7	25	50	25	65	20	75
Blähton	7 - 15	50	100	35	100	25	100
	Summe	100	-	100	-	100	-

Abg. 9  
Sieblinien der Reihe B



Tafel 10

Versuchsreihen mit geschlossenem Gefüge

Reihe	Zuschlagstoff	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	
B I	Blähton mit Natursandzusatz, dichtes Gefüge	100	
		150	
		200	
		300	
B II		100	250
		150	300
		200	350
B III			100
			200
			300

Nach dem Zusammensetzen des Zuschlagstoffes nach der jeweiligen Sieblinie erfolgte die Herstellung und Lagerung der Probewürfel für die Ermittlung der Druckfestigkeit, wie bei 3.1 (Einkornbeton). Auch bei diesen Versuchen wurde ein steifer Beton verwendet.

In der Tafel 11 sind die Mischungsverhältnisse, Zementgehalte, Raumgewichte und Druckfestigkeiten aufgeführt. Die Abb. 10 zeigt die Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Raumgewicht und Zementgehalt. Von jeder Versuchsreihe wurde ein zusätzlich angefertigter Würfel mit einem Zementgehalt von 200 kg/m<sup>3</sup> fert. Beton zersägt und fotografiert ( s. Abb. 11, 12 und 13).

### 3.3 Versuche mit gerütteltem Beton

Bei den folgenden Versuchen sollte der Einfluß der Verdichtung durch Rütteln auf die Betondruckfestigkeit bei einem Einkornbeton 3 - 7 mm und einem Beton der Sieblinie B II festgestellt werden. Es wurden von jeder Versuchsreihe 3 Würfel mit 150 kg/m<sup>3</sup> f.B. / durch Stochern und 3 Würfel durch Rütteln auf einem Tischrüttler (Vibromax A 400/1000, 2800 U/Min., Losenhausenwerk Düsseldorf Maschinenbau A.G.) hergestellt. Die Dauer des Rüttelns betrug 20 sec.



T a f e l 11

Blähton-Beton mit geschlossenem Gefüge

Reihe	Zement- gehalt kg/m <sup>3</sup>	Mischungs- verhältnis n. Gtl.	Wasser- Zement- verh.	Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>		Druckfestigkeit W <sub>28</sub> in kg/cm <sup>2</sup>	
				Frisch- beton	n. 28 Tagen	Einzelwerte	Mittel- werte
B I	110	1 : 4,7	1,93	838	799	19/20/22	20
	161	1 : 3,2	1,40	896	859	32/26/27	28
	220	1 : 2,3	1,05	950	917	27/30/30	29
	301	1 : 1,6	0,72	1007	962	32/30/31	31
B II	106	1 : 5,9	2,41	984	899	26/21/22	23
	156	1 : 3,9	1,62	1016	948	33/31/34	33
	203	1 : 3,0	1,29	1075	1005	37/33/34	35
	248	1 : 2,5	1,05	1125	1053	36/40/38	38
	301	1 : 2,0	0,86	1162	1116	47/54/48	50
	355	1 : 1,7	0,71	1211	1162	54/52/56	54
B III	105	1 : 6,7	2,54	1087	996	27/26/27	27
	213	1 : 3,3	1,33	1198	1151	49/54/46	50
	315	1 : 2,0	0,89	1227	1194	52/51/52	52







Abb. 11

Blähtonbeton mit geschlossenem  
Gefüge

Natursandzusatz 0 - 1 mm 10%

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f. B.

Versuchsreihe B I

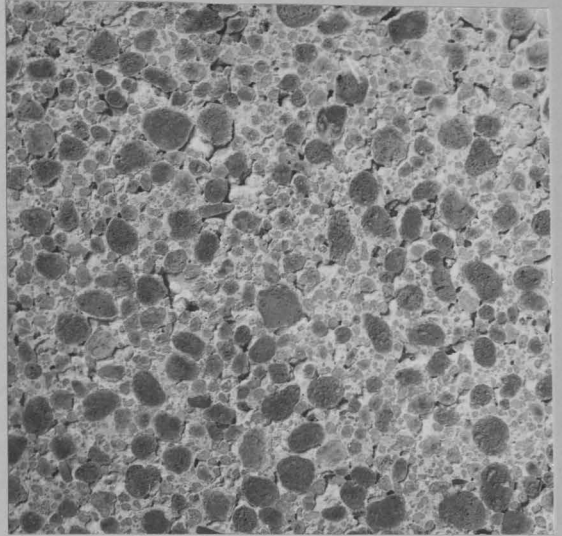


Abb. 12

Blähtonbeton mit geschlossenem  
Gefüge

Natursandzusatz 0 - 1 mm 20%

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f. B.

Versuchsreihe B II

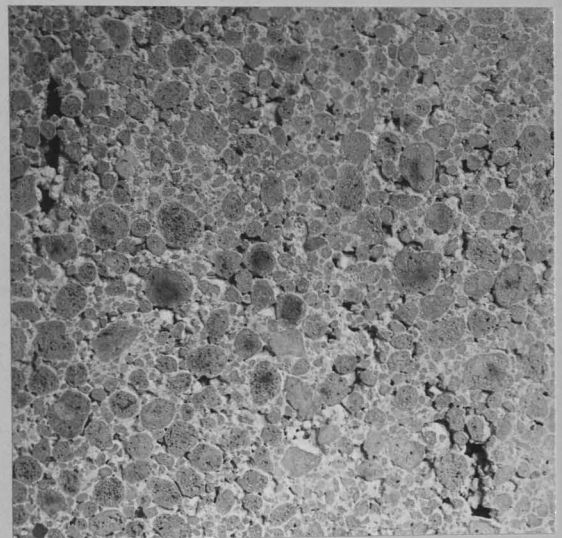


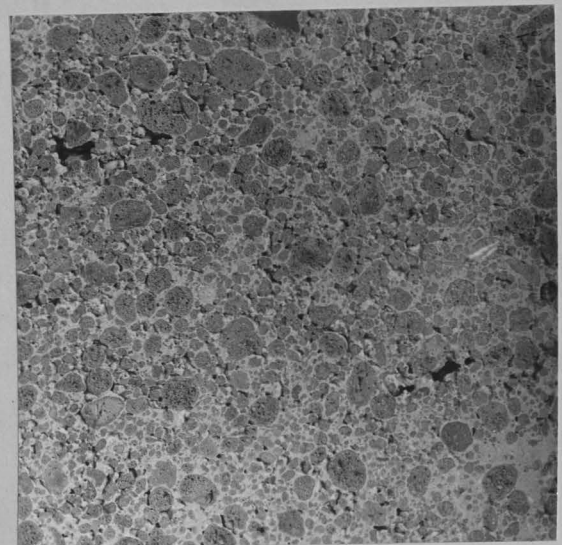
Abb. 13

Blähtonbeton mit geschlossenem  
Gefüge

Natursandzusatz 0 - 1 mm 30%

Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  f. B.

Versuchsreihe B III



Maßstab 1 : 2

Für alle Mischungen wurde steife (erdfeuchte) Konsistenz gewählt.

In der Tafel 12 sind die Mischungsverhältnisse, Zementgehalte, Raumgewichte und Druckfestigkeitswerte aufgeführt.

T a f e l 12  
Versuche mit gerütteltem Beton

Zuschlagstoff	Verdichtung	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup> f.B.	Mischungsverhältn. Zement: Blähton n.Gtl.	Wasserzementverh.	Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>		Druckfestigkeit W 28. in kg/cm <sup>2</sup>	
					Frish-	nach 28 Tg.	Einzelwerte	Mittelwerte
Blähton (Einkorn) 3 - 7 mm	gestochert	160	1 : 3,0	1,35	857	827	30/30/26	29
	20 Sek. gerüttelt	159	1 : 3,3	1,66	895	849	36/31/35	36
Sieb- linie B II (s. Abb. 9)	gestochert	159	1 : 3,9	1,62	1037	976	40/40/38	39
	20 Sek. gerüttelt	150	1 : 4,2	1,80	1050	984	43/46/43	44

### 3.4 Versuche mit Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz

Da mit den aus reinem Blähton, bzw. mit Blähton und Sandzusatz hergestellten Betonen Druckfestigkeiten über 100 kg/cm<sup>2</sup> nicht zu erzielen waren, wurde eine Versuchsreihe mit Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz angefertigt (Versuchsreihe C I und C II). Die Sieblinie des Kiessandes und Blähtons lag zwischen der D- und E-Linie, also im besonders guten Bereich nach DIN 1045 A § 5. In der Tafel 13 sind die Anteile der einzelnen Korngruppen und die Zusammensetzung der benutzten Sieblinie eingetragen. Die mit Kiessand (Versuchsreihe C III) durchgeführten Versuche sollten als Vergleich dienen. Außerdem wurden 2 in der Farbe unterschiedliche Blähtone wie nachfolgend aufgeführt, verwendet.



In der Tafel 14 in der letzten Spalte unter "Korn" wird zwischen normalem und hellem Korn unterschieden. Unter "normalem Korn" ist der in Braunschweig angelieferte Blähton zu verstehen. Bei der Bezeichnung "helles Korn" handelt es sich um einen besonders hellen bräunlich-roten Blähton, der in seiner Farbe dem dänischen Material am nächsten kam. Nach Angabe der dänischen Betriebsleitung soll dieses Material am besten sein. Es wurde, als es während des Brennens anfiel, in 3 Säcken abgefüllt und mit dem anderen Blähton nach Braunschweig überführt. Die in der Tafel 14 aufgeführten Versuche mit hellem Korn wurden mit diesem Blähton durchgeführt.

Tafel 13

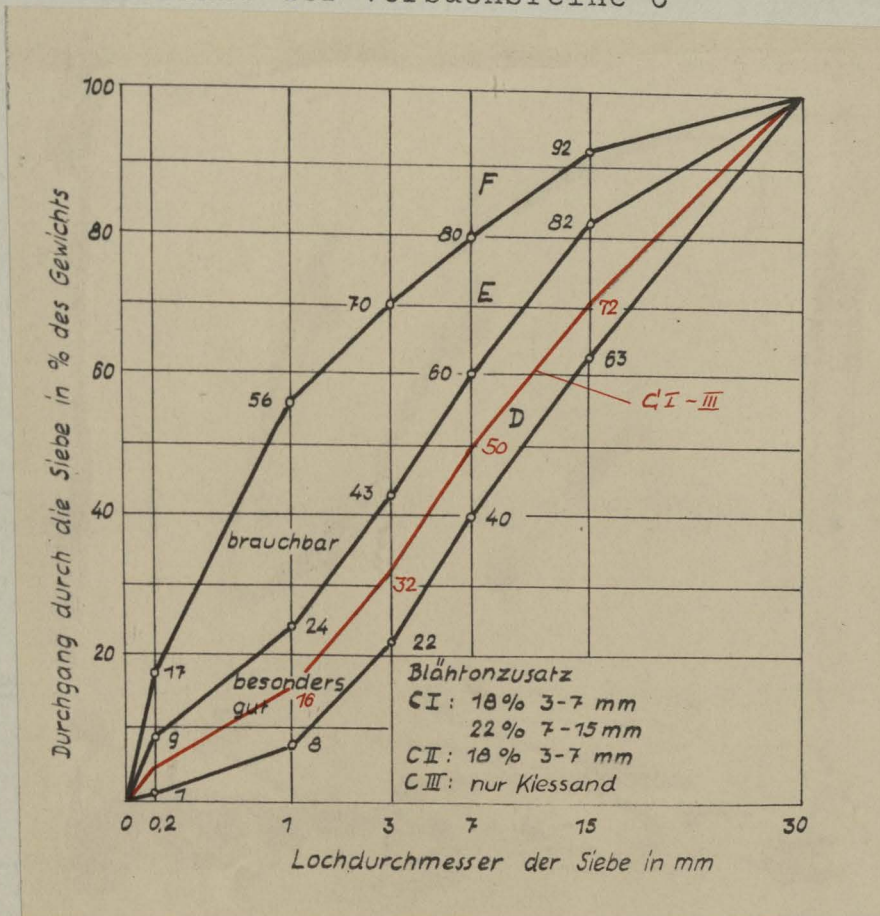
Material	Korngruppe mm	Anteil in Gew.-% bei den Sieblinien					
		C I		C II		C III	
		einzel	Summe	einzel	Summe	einzel	Summe
Betonfeinsand	0 - 0,2	5	5	5	5	5	5
Betonfeinsand	0,2- 1	11	16	11	16	11	16
Betongrobsand	1 - 3	16	32	16	32	16	32
Betongrobsand	3 - 7	-	-	-	-	18	50
Blähton	3 - 7	18	50	18	50	-	-
Betonfeinkies	7 - 15	-	-	22	72	22	72
Blähton	7 - 15	22	72	-	-	-	-
Betonfeinkies	15 - 30	28	100	28	100	28	100
	Summe	100	-	100	-	100	-

In der Abb. 14 ist die Sieblinie eingezeichnet. Die Bezeichnung der Sieblinie entspricht der jeweiligen in der Tafel 14 eingetragenen Versuchsreihe.

Abb. 14

Sieblinie der Versuchsreihe C  
(s. S. 24 )

Abb. 14  
Sieblinie der Versuchsreihe C



T a f e l 14

Versuche mit Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz

Reihe	Zuschlagstoff	Zementgehalt kg/m <sup>3</sup>	Korn
C I	Kiessand mit Blähton	300	normales
		400	Korn
C II	Kiessand mit Blähton	300	helles Korn
		300	norm. Korn
		400	norm. Korn
C III	Kiessand	300	Kiessand

Für jede Versuchsreihe wurden 3 Würfel durch Rütteln auf dem Tischrüttler hergestellt. Die Dauer des Rüttelns betrug jeweils 10 sec.



In Tafel 15 sind die Mischungsverhältnisse, Zementgehalte, Raumgewichte und Druckfestigkeitsergebnisse aufgeführt.

Von den Versuchsreihen C I und C II wurde je ein zusätzlich angefertigter Würfel mit einem Zementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$  fert. Beton und "normalem Korn" zersägt und fotografiert (s. Abb. 16 und 17).

Die Abb. 15 zeigt die Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Raumgewicht und Zementgehalt.

T a f e l 15

Reihe	Zement- gehalt $\text{kg/m}^3$	Zuschlagstoff n. Sieblinie (s. Abb. 14)	Mischungsverh. Zement : Zuschl. n. Gtl.	Wasser- zement- verh.	Raumgew. i. $\text{kg/m}^3$		Druckfestigk. W 28 in $\text{kg/cm}^2$	
					Frisch- beton	nach 28 Tg.	Einzel- werte	Mittel- werte
C I	315	normales Korn	1 : 2,7	0,70	1388	1343	65/65/65	65
	400	normales Korn	1 : 2,2	0,61	1521	1484	105/109/105	103
C II	283	helles Korn	1 : 4,9	0,62	1840	1809	148/167/164	160
	274	normales Korn	1 : 4,9	0,65	1792	1759	107/103/115	110
	379	normales Korn	1 : 3,4	0,55	1875	1867	131/140/127	133
C III	282	Kiessand	1 : 7,0	0,51	2400	2340	300/290/302	297

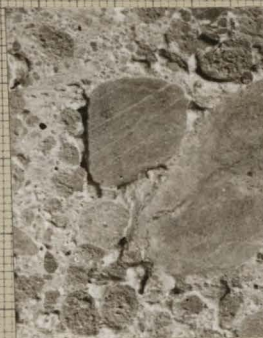


# Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom Raumgewicht und Zementgehalt

$W_{20} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right]$

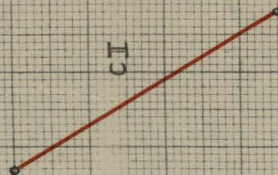
160  
150  
140  
130  
120  
110  
100  
90  
80  
70  
60

## Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz

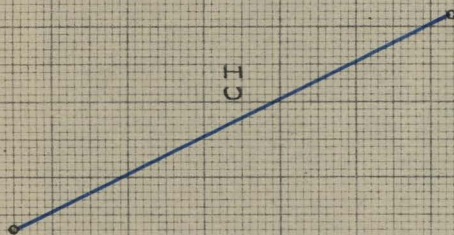


CI Blähtonzusatz 18 Gew. % 3-7 mm  
22 Gew. % 7-15 mm  
CI Blähtonzusatz 18 Gew. % 3-7 mm  
Vergleichsversuche mit hellem Korn und Kiessand siehe Tafel

CI



CI



$\left[ \frac{kg \text{ Zement}}{m^3 \text{ Beton}} \right]$

350

300

1300

1400

1500

1700

Rohwichte  $[kg/m^3]$



Abb. 16

Beton aus Kiessand mit  
Blähtonzusatz

Blähton 3 - 7 mm 18 %

Blähton 7 - 15 mm 22 %

Zementgehalt 300 kg/m<sup>3</sup> f.B.

Versuchsreihe C I

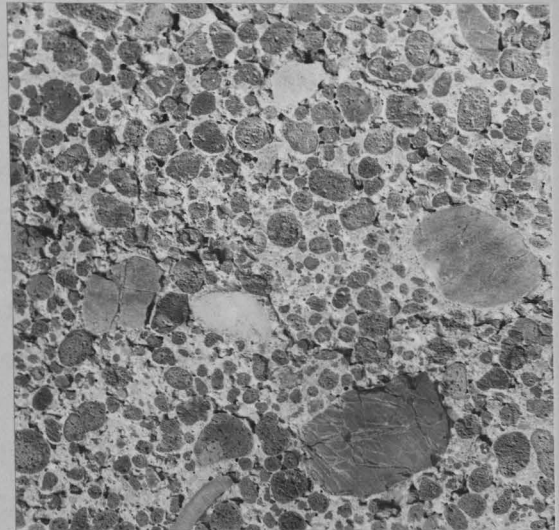


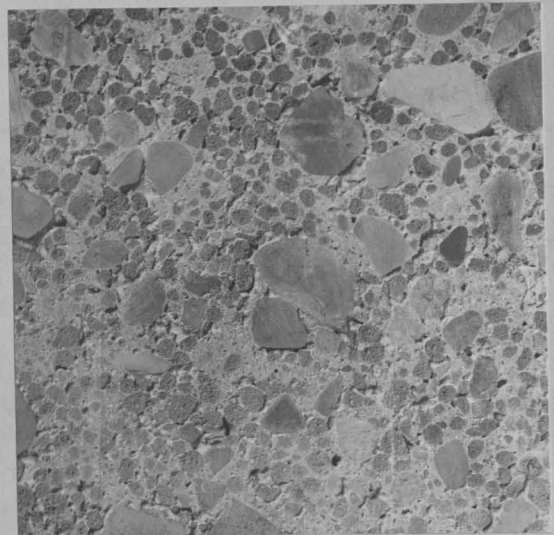
Abb. 17

Beton aus Kiessand mit  
Blähtonzusatz

Blähton 3 - 7 mm 18 %

Zementgehalt 300 kg/m<sup>3</sup> f.B.

Versuchsreihe C II



Maßstab 1 : 2

### 3.5 Folgerungen aus 3.1 bis 3.4

Die durchgeführten Versuche sollten dem Zwecke dienen, geeignete Mischungsverhältnisse und Kornzusammensetzungen für einen B 30, B 50, B 160 und evt. B 225 zu finden. Die Herstellung von Betonen der erstgenannten drei Güteklassen gelang ohne Schwierigkeiten, die Güteklasse B 225 wurde mit den untersuchten Mischungen nicht erreicht. Von weiteren Versuchen mit einem Beton der Güteklasse B 160 mußte ebenfalls abgesehen werden, da nicht genügend "helles Korn" (s. Tafel 15 C II) zur Verfügung stand. Aus diesen Gründen wurden abweichend vom Arbeitsplan für die unter Abschnitt 4 aufgeführten Sonderversuche zwei Betone der Güteklasse 30 (Einkornbeton und Beton mit geschlossenem Gefüge), ein Beton der Güteklasse 50 und ein Beton der Güteklasse 120 ausgewählt. In der folgenden Tafel 16 sind diese Betone näher beschrieben.

T a f e l 16

Güteklasse	Beton	Zementgehalt in kg/m <sup>3</sup> f.B.	Versuchs- reihe	Mischungs- verhältnis n. G.T.
B 30	Blähtonbeton (Einkorn) 3 - 7 mm	150	A II	1 : 3,0 : 1,35
B 30	Blähtonbeton	100	B III	1 : 6,7 : 2,54
B 50	Blähtonbeton	200	B III	1 : 3,3 : 1,33
B 120	Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz	300	C II	1 : 4,9 : 0,65

Von den in Tafel 16 aufgeführten Betonen wurden folgende Eigenschaften geprüft:

Schwinden und Quellen  
Wasseraufnahme, Wasserabgabe und Wasseraufsaugefähigkeit  
Wärmeleitzahl  
Frostbeständigkeit und  
Elastizitätsmodul



#### 4. Sonderversuche

##### 4.1 Prüfung auf Schwinden und Quellen

Die in Tafel 16 angegebenen Betone sind weiterhin wie folgt bezeichnet:

B 30 (Einkorn); B 30; B 50 und B120

Aus diesen Betonen wurden jeweils 4 Probekörper 34 x 15 x 10 cm hergestellt. Die Entschalung erfolgte nach 2-tägiger Lagerung unter feuchten Tüchern. In jedem Versuchstück sind dann 2 Setzbolzen 80 mm tief eingelassen und die Körper nochmals 5 Tage in feuchte Tücher eingepackt worden. Nach dieser 7-tägigen Feuchtlagerung wurden die Probekörper 170 Tage lang an der Luft in einem geschlossenen, vor Zugluft geschützten Raume mit einer mittleren Lufttemperatur von 19° C, einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 - 80% und weiterhin 49 Tage lang im Klimaraum mit einer mittleren Lufttemperatur von 22° C sowie einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45% gelagert.

Die erste Messung (Null-Messung) wurde an den 7 Tage alten Prismen durchgeführt, die weiteren Messungen erfolgten zu den in Tafel 17 angegebenen Zeiten. Für die Messungen fand ein Deformeter mit einer Meßgenauigkeit von 0,00254 mm und einer Meßstrecke von 254 mm Verwendung. Gleichzeitig mit den Messungen auf Schwinden und Quellen wurden die Probekörper gewogen.

In den Tafeln 17 und 18 sind die Ergebnisse eingetragen, in den Abb. 18 und 19 graphisch dargestellt.

T a f e l 17  
Schwind- und Quellmeßwerte

Probe- balken	Alter Tage	Längenänderung in mm/m (+)=Quellen (-)=Schwinden Versuchs-Nr.					Lagerungsart
		1	2	3	4	Mittel	
B 30 (Ein- korn)	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 70- 80% und einer mittleren Tem- peratur von 19° C
	10	0,00	+0,01	-0,01	-0,02	-0,01	
	14	0,00	+0,01	0,00	-0,01	-0,00	
	21	-0,02	-0,02	0,00	-0,05	-0,02	
	35	-0,06	-0,08	-0,03	-0,08	-0,06	
	49	-0,07	-0,10	-0,03	-0,09	-0,07	
	77	-0,25	-0,30	-0,24	-0,25	-0,26	
	91	-0,28	-0,34	-0,26	-0,32	-0,30	
	105	-0,30	-0,36	-0,27	-0,35	-0,32	
	119	-0,34	-0,37	-0,27	-0,38	-0,34	
	131	-0,35	-0,38	-0,28	-0,39	-0,35	
	145	-0,37	-0,39	-0,28	-0,41	-0,36	
	159	-0,36	-0,39	-0,28	-0,39	-0,36	
	177	-0,38	-0,34	-0,29	-0,41	-0,36	
	184	-0,44	-0,41	-0,36	-0,48	-0,42	49 Tage im Klima- raum bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 45% u. einer Tempe- ratur von 22° C
	191	-0,44	-0,42	-0,36	-0,47	-0,42	
	198	-0,45	-0,42	-0,37	-0,50	-0,44	
	205	-0,45	-0,42	-0,36	-0,49	-0,43	
	212	-0,45	-0,42	-0,36	-0,50	-0,43	
	226	-0,44	-0,42	-0,36	-0,49	-0,43	
B 30	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 19° C
	10	0,00	+0,01	+0,01	-0,02	0,00	
	14	+0,01	+0,02	+0,01	-0,01	+0,01	
	21	-0,01	+0,01	+0,02	-0,02	0,00	
	35	-0,03	-0,01	+0,01	-0,02	-0,01	
	49	-0,03	-0,02	-0,01	-0,03	-0,02	
	77	-0,21	-0,18	-0,14	-0,10	-0,16	
	91	-0,29	-0,26	-0,23	-0,19	-0,24	
	105	-0,30	-0,27	-0,25	-0,23	-0,26	
	119	-0,30	-0,28	-0,26	-0,24	-0,27	
	131	-0,31	-0,29	-0,28	-0,26	-0,29	
	145	-0,32	-0,30	-0,29	-0,27	-0,30	
	159	-0,31	-0,31	-0,30	-0,28	-0,30	
	177	-0,32	-0,31	-0,31	-0,29	-0,31	
	184	-0,36	-0,35	-0,35	-0,33	-0,35	49 Tage im Klima- raum bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 45% u. einer Tempe- ratur von 22° C
	191	-0,35	-0,35	-0,35	-0,32	-0,34	
	198	-0,37	-0,36	-0,36	-0,33	-0,36	
	205	-0,37	-0,36	-0,36	-0,33	-0,36	
	212	-0,37	-0,36	-0,36	-0,33	-0,36	
	226	-0,37	-0,36	-0,36	-0,33	-0,36	



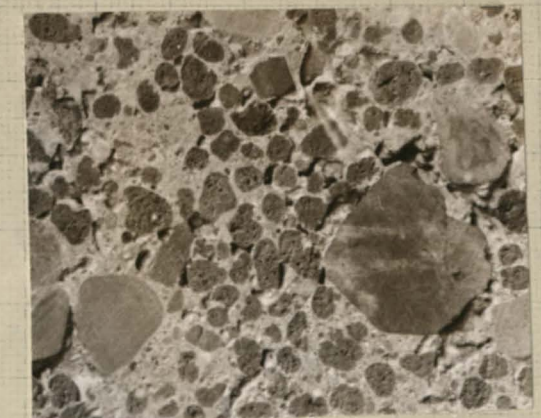
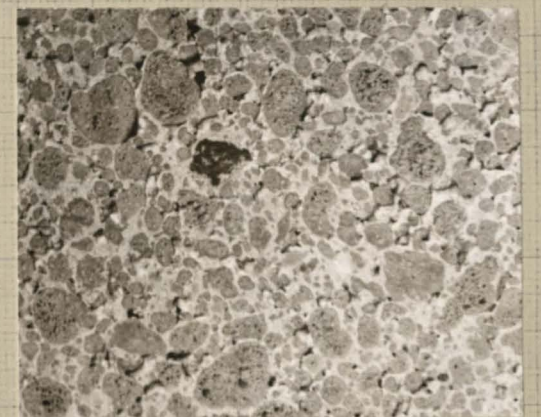
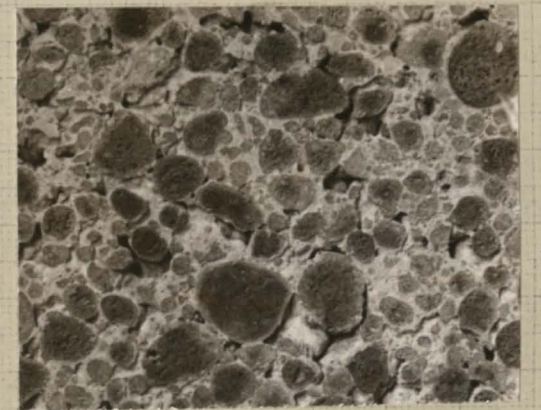
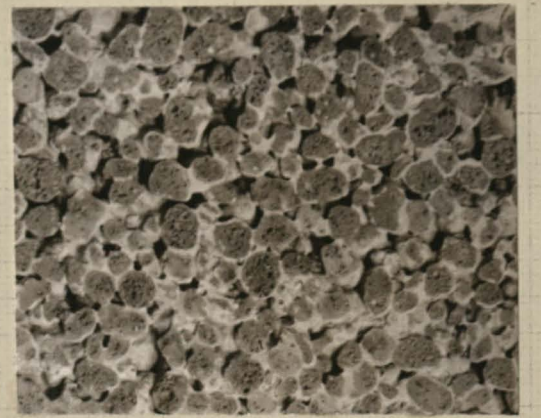
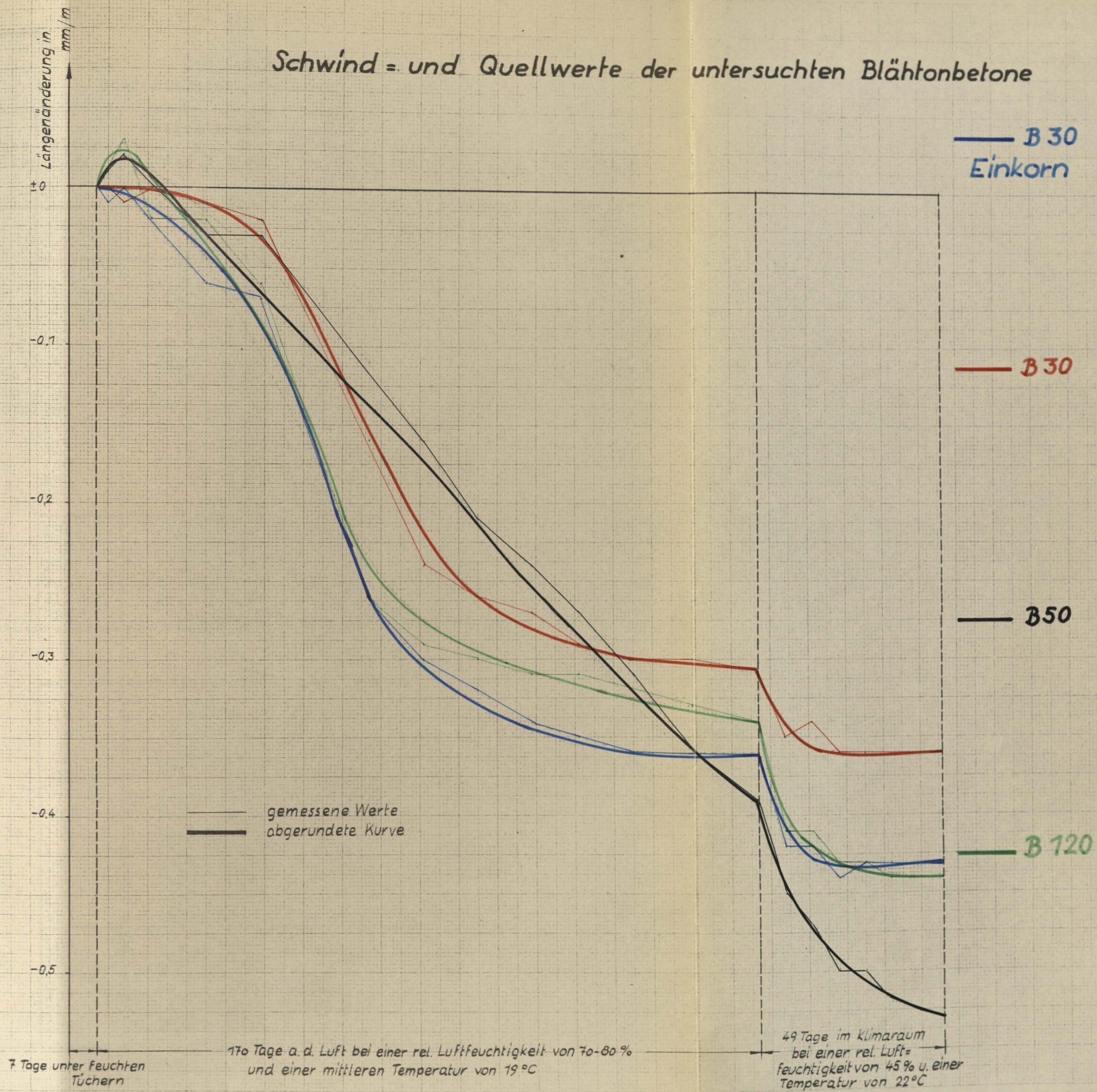
Fortsetzung Tafel 17

Schwind- und Quellmeßwerte

Probe- balken	Alter Tage	Längenänderung in mm/m (+)=Quellen (-)= Schwinden Versuch-Nr.					Lagerungsart
		1	2	3	4	Mittel	
B 50	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 19° C
	10	+0,01	0,00	0,00	+0,01	+0,01	
	14	+0,02	+0,01	+0,01	+0,02	+0,02	
	21	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,00	
	35	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03	-0,03	
	49	-0,03	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03	
	77	-0,09	-0,11	-0,07	-0,16	-0,11	
	91	-0,13	-0,17	-0,12	-0,23	-0,16	
	105	-0,18	-0,24	-0,16	-0,26	-0,21	
	119	-0,21	-0,27	-0,19	-0,29	-0,24	
	131	-0,24	-0,30	-0,23	-0,31	-0,27	
	145	-0,29	-0,32	-0,27	-0,37	-0,31	
	159	-0,31	-0,37	-0,33	-0,41	-0,36	
	177	-0,36	-0,40	-0,38	-0,42	-0,39	
	184	-0,42	-0,46	-0,44	-0,49	-0,45	49 Tage im Klimaraum bei einer rel. Luft- feuchtigkeit von 45% u. einer Temperatur von 22° C
	191	-0,44	-0,48	-0,45	-0,49	-0,47	
	198	-0,48	-0,51	-0,49	-0,52	-0,50	
	205	-0,48	-0,52	-0,49	-0,52	-0,50	
	212	-0,50	-0,54	-0,51	-0,54	-0,52	
	226	-0,51	-0,55	-0,52	-0,53	-0,53	
B 120	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 19° C
	10	+0,01	+0,02	+0,01	0,00	+0,01	
	14	+0,03	+0,03	+0,03	+0,02	+0,03	
	21	-0,02	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	
	35	-0,03	-0,01	-0,01	-0,03	-0,02	
	49	-0,06	-0,05	-0,04	-0,10	-0,06	
	77	-0,26	-0,27	-0,24	-0,28	-0,26	
	91	-0,29	-0,30	-0,25	-0,32	-0,29	
	105	-0,29	-0,32	-0,26	-0,33	-0,30	
	119	-0,30	-0,32	-0,27	-0,33	-0,31	
	131	-0,30	-0,32	-0,27	-0,34	-0,31	
	145	-0,31	-0,33	-0,28	-0,35	-0,32	
	159	-0,32	-0,35	-0,30	-0,36	-0,33	
	177	-0,34	-0,36	-0,31	-0,36	-0,34	
	184	-0,41	-0,43	-0,36	-0,44	-0,41	49 Tage im Klimaraum bei einer rel. Luft- feuchtigkeit von 45% u. einer Temperatur von 22° C
	191	-0,40	-0,42	-0,36	-0,44	-0,41	
	198	-0,43	-0,45	-0,38	-0,46	-0,43	
	205	-0,43	-0,45	-0,38	-0,46	-0,43	
	212	-0,44	-0,46	-0,39	-0,47	-0,44	
	226	-0,44	-0,46	-0,38	-0,47	-0,44	



## Schwind- und Quellwerte der untersuchten Blähtonbetone





T a f e l 18

Gewichtsänderungen beim Schwinden

Probe- balken	Alter Tage	Gewichtsverluste in % bezogen auf die Gewichte der 7 Tage alten Probekbalken Versuch Nr.					Lagerungsart
		1	2	3	4	Mittel	
B 30 (Ein- korn)	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	170 Tage an der Luft bei einer rel.Luftfeuchtig- keit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 190 C
	10	4,9	4,9	4,0	4,2	4,5	
	14	7,9	8,2	6,7	6,3	7,3	
	21	13,1	13,0	10,7	11,0	12,0	
	35	18,9	18,7	14,8	16,9	17,3	
	49	22,0	22,0	18,3	19,8	20,5	
	77	25,8	25,8	21,4	23,6	24,1	
	91	27,0	26,0	22,0	24,9	25,0	
	105	27,6	26,9	22,6	25,7	25,7	
	119	26,6	26,2	22,0	25,1	25,5	
	131	26,2	25,6	21,5	24,5	24,5	
	145	26,2	26,0	21,6	24,7	24,6	
	159	26,4	26,0	21,6	24,7	24,7	
	177	26,4	25,8	21,3	24,5	24,5	
	184	27,6	26,9	22,6	25,7	25,7	49 Tage im Klima- raum bei einer rel.Luftfeuch- tigkeit von 45% u.einer Tempera- tur von 220 C
	191	27,2	26,4	22,8	25,7	25,5	
	198	27,0	26,4	22,8	25,6	25,5	
	205	27,0	26,4	22,6	25,6	25,4	
	212	26,8	26,4	22,2	25,3	25,2	
	226	27,0	26,4	22,4	25,6	25,4	
	226	27,0	26,4	22,4	25,6	25,4	
B 30	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	170 Tage an der Luft bei einer rel.Luftfeuchtig- keit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 190 C
	10	5,0	4,5	4,4	4,3	4,5	
	14	8,2	7,1	7,0	6,7	7,3	
	21	13,2	12,1	12,3	11,1	12,2	
	35	18,5	17,7	17,7	15,8	17,4	
	49	21,1	20,5	20,9	17,9	20,1	
	77	24,5	23,8	23,6	20,9	23,2	
	91	24,9	24,1	24,3	21,5	23,7	
	105	25,8	24,9	25,4	22,3	24,6	
	119	25,1	24,5	24,7	22,0	24,1	
	131	24,9	24,4	24,3	22,5	24,0	
	145	24,9	24,5	24,3	22,5	24,0	
	159	25,3	24,7	24,5	22,1	24,1	
	177	24,7	24,2	24,3	21,9	23,8	
	184	25,8	24,9	25,4	22,8	24,7	49 Tage im Klima- raum bei einer rel.Luftfeuch- tigkeit von 45% und einer Tempe- ratur von 220 C
	191	25,6	24,7	25,1	22,6	24,5	
	198	25,5	24,9	24,9	22,8	24,5	
	205	25,3	24,9	15,1	22,5	24,4	
	212	25,1	24,7	24,9	22,5	24,3	
	226	25,1	25,1	25,1	22,8	24,5	
	226	25,1	25,1	25,1	22,8	24,5	

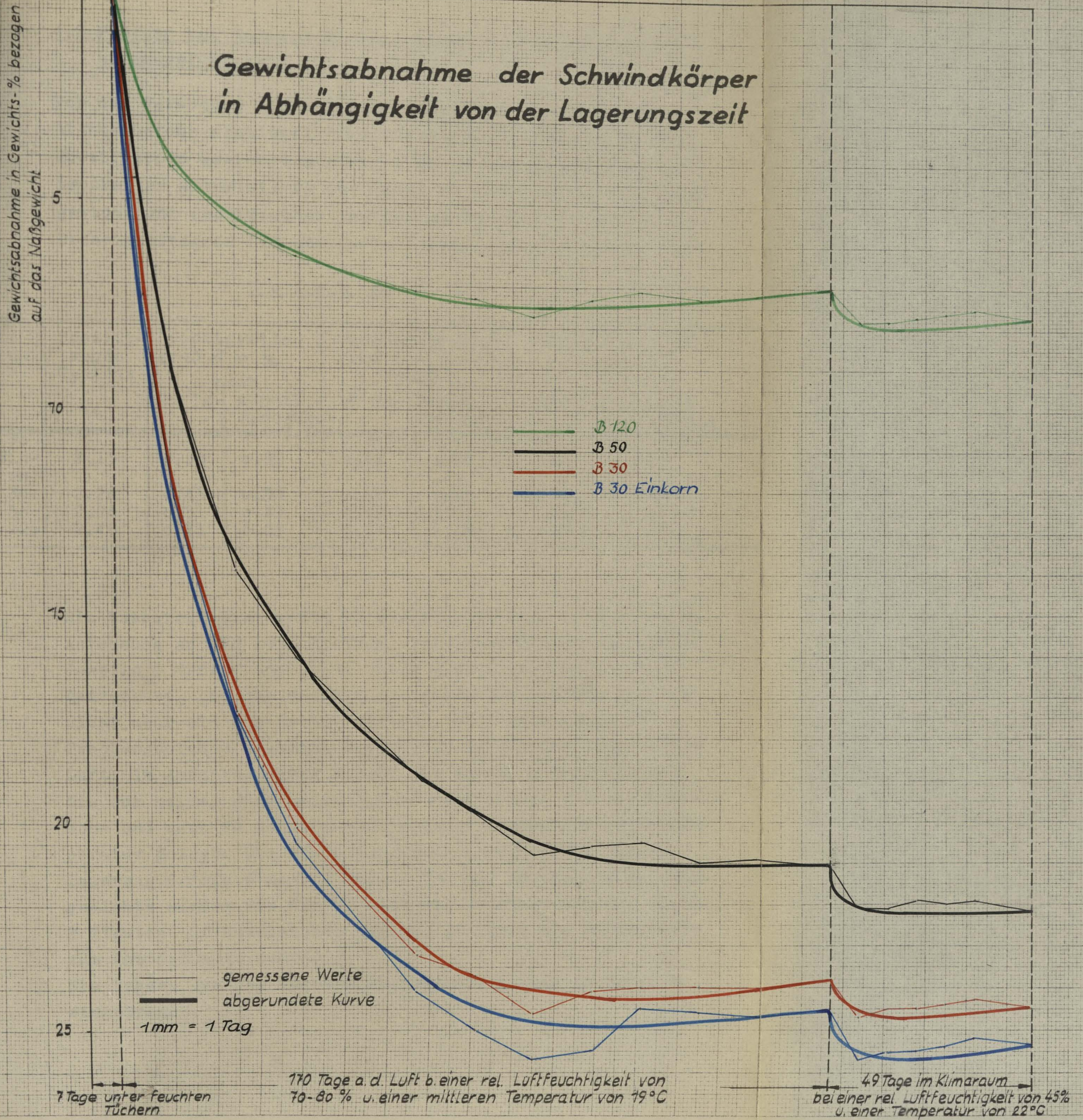
Fortsetzung Tafel 18  
Gewichtsänderungen beim Schwinden

Probe- balken	Alter Tage	Gewichtsverluste in % bezogen auf die Gewichte der 7 Tage alten Probekbalken Versuch Nr.					Lagerungsart
		1	2	3	4	Mittel	
B 50	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 70 - 80% und einer mittleren Tem- peratur von 19° C
	10	1,6	1,7	1,7	2,0	1,8	
	14	4,5	5,3	5,0	5,4	5,1	
	21	8,0	9,4	9,2	10,2	9,2	
	35	12,4	14,0	13,8	15,4	13,9	
	49	14,4	16,2	16,0	17,6	16,0	
	77	17,1	19,0	18,7	20,5	18,8	
	91	17,9	20,0	19,6	21,5	19,7	
	105	19,0	21,2	21,0	22,3	20,8	
	119	19,2	20,7	20,7	21,9	20,6	
	131	19,0	20,7	20,5	21,9	20,5	
	145	19,4	21,1	21,2	22,3	21,0	
	159	19,5	20,9	21,2	22,0	20,9	
	177	19,7	21,2	21,3	22,2	21,1	
	184	20,8	22,3	22,2	23,0	22,1	49 Tage im Klima- raum bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 45% u. einer Tempera- tur von 22° C
	191	20,8	22,5	22,1	23,0	22,1	
	198	20,6	22,3	22,1	22,7	21,9	
	205	20,6	22,5	22,2	22,8	22,0	
	212	20,5	22,2	22,1	22,8	21,9	
	226	20,8	22,3	22,4	23,2	22,2	
	226	20,8	22,3	22,4	23,2	22,2	
B 120	0	-	-	-	-	-	7 Tage unter feuchten Tüchern
	7	-	-	-	-	-	
	7	-	-	-	-	-	170 Tage an der Luft bei einer rel. Luftfeuchtig- keit von 70 - 80% und einer mittleren Temperatur von 19° C
	10	1,2	0,9	1,0	0,7	1,0	
	14	2,5	2,4	2,6	1,9	2,4	
	21	4,6	4,2	4,4	3,5	4,2	
	35	6,2	5,6	6,1	4,6	5,6	
	49	6,6	6,5	6,7	5,2	6,3	
	77	7,4	7,1	7,7	6,1	7,1	
	91	7,6	7,5	7,8	6,1	7,3	
	105	7,5	7,6	8,8	6,7	7,7	
	119	7,5	7,4	8,0	6,2	7,3	
	131	7,7	7,0	7,7	5,9	7,1	
	145	7,5	7,0	8,8	6,0	7,3	
	159	7,6	7,1	7,8	6,2	7,2	
	177	7,4	7,0	7,5	5,9	7,0	
	184	8,3	7,7	8,4	6,7	7,8	49 Tage im Klima- raum bei einer rel. Luftfeuch- tigkeit von 45% und einer Tempera- tur von 22° C
	191	8,3	7,7	8,4	6,7	7,8	
	198	8,2	7,7	8,2	6,5	7,7	
	205	8,0	7,7	8,2	6,4	7,6	
	212	7,8	7,6	8,2	6,3	7,5	
	226	8,2	7,7	8,3	6,4	7,7	
	226	8,2	7,7	8,3	6,4	7,7	



Abb. 19

# Gewichtsabnahme der Schwindkörper in Abhängigkeit von der Lagerungszeit





#### 4.2 Prüfung auf Wasseraufnahme, Wasserabgabe und Wasseraufsaugfähigkeit

Vor den Versuchen wurde der Porenraum der 4 verwendeten Blühtonbetone ermittelt. Die erforderliche Bestimmung der spezifischen Gewichte(s) erfolgte an fein zerkleinertem, getrocknetem Material. In der Tafel 19 sind die aus dem Raumgewicht und spezifischen Gewicht errechneten Werte für den Dichtigkeitsgrad (d) und Undichtigkeitsgrad (u) eingetragen.

T a f e l 19

Beton	Spezifisches Gewicht s	Dichtigkeitsgrad $d = \frac{P}{S}$ nach		Undichtigkeitsgrad $u = 1 - d$ nach		Porenraum in % nach	
		28 Tg.	künstl. Trockng.	28 Tg.	künstl. Trockng.	28 Tg.	künstl. Trocknung
B 30 (Einkorn)	2,13	0,38	0,32	0,62	0,68	62	68
B 30	2,20	0,45	0,38	0,55	0,62	55	62
B 50	2,24	0,51	0,43	0,49	0,57	49	57
B 120	2,46	0,71	0,65	0,29	0,35	29	35

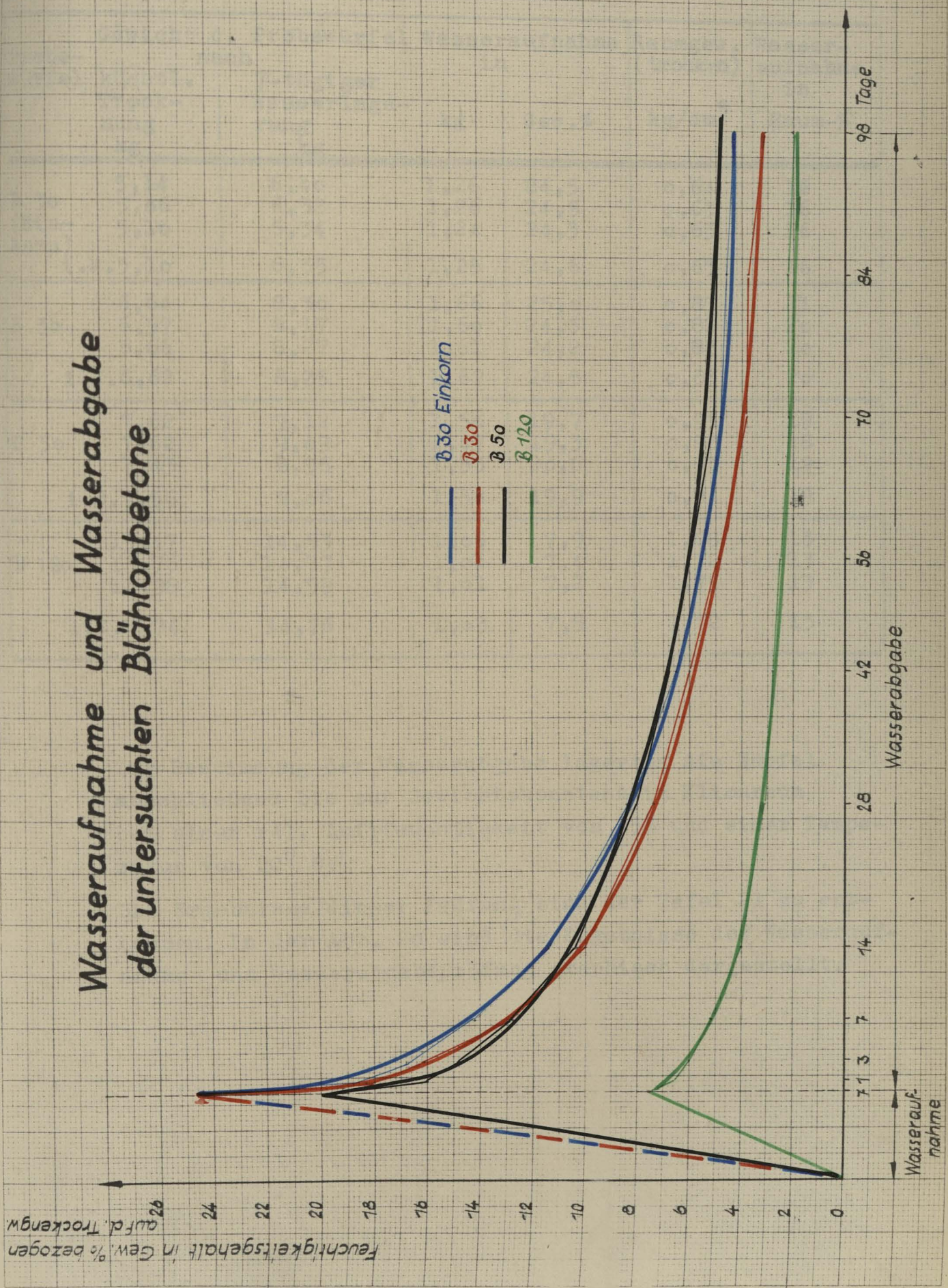
Die Wasseraufnahme wurde an Würfeln von 20 x 20 x 20 cm in Anlehnung an DIN 105, 3. Ausg. vom Oktober 1941 ermittelt. Jeweils 3 Würfel von jedem Beton wurden solange bei 110° getrocknet, bis das Gewicht des einzelnen Würfels sich um nicht mehr als 2 g je Tag änderte. Nach Bestimmung der Trockengewichte lagerten die Würfel 24 Stunden lang an der Luft. Im Anschluß daran wurden die Würfel 2 Stunden lang bis zur halben Höhe, nach dieser Zeit bis zu 3/4 der Würfelhöhe und nach 22 Stunden völlig unter Wasser von Zimmertemperatur gelegt. Die erste Wägung nach Beginn der Wasserlagerung erfolgte nach 7 Tagen. Vor der Bestimmung der Naßgewichte wurden die Würfel nach der Entnahme aus dem Wasser 2 Minuten auf Holzleisten gelegt, um ihnen die Möglichkeit zum Abtropfen zu geben.

Die Ergebnisse der Wasseraufnahmeprüfung sind in Tafel 20 eingetragen.



Abb. 20

# Wasseraufnahme und Wasserabgabe der untersuchten Blähtonbetone





Tafel 20

Wasseraufnahme von Würfeln 20 x 20 x 20 cm

Probe- würfel	Gewicht d. Probewürfel nach		Wasseraufnahme in		Raumgew. (trocken) kg/dm <sup>3</sup>	Wasser- aufnahme in Raum-%
	künstl. Trock- nung kg	7-tägiger Wasserlage- rung kg	kg	Gew. %		
B 30 (Ein- korn)	5,14	6,40	1,26	24,5	0,64	16
	5,06	6,32	1,26	24,9	0,63	16
	5,10	6,34	1,24	24,3	0,63	16
	i.M. 5,10	6,35	1,25	24,6	0,63	16
B 30	6,64	8,30	1,66	25,0	0,83	21
	6,57	8,17	1,60	24,3	0,82	20
	6,66	8,27	1,61	24,2	0,83	20
	i.M. 6,62	8,25	1,62	24,5	0,83	20
B 50	7,62	9,12	1,50	19,7	0,95	19
	7,62	9,09	1,47	19,3	0,95	18
	7,43	8,96	1,53	20,6	0,93	19
	i.M. 7,56	9,06	1,50	19,9	0,94	19
B 120	13,47	14,53	1,06	7,9	1,68	13
	13,76	14,77	1,01	7,4	1,72	13
	13,98	14,99	1,01	7,2	1,75	13
	i.M. 13,74	14,76	1,03	7,5	1,72	13

Zur Bestimmung der Wasserabgabe lagerten die Würfel anschließend bis zur Gewichtskonstanz im Klimaraum bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 45% und einer Temperatur von 20° C.

Die Ergebnisse dieser Prüfung sind der Tafel 21 zu entnehmen. In der Abb. 20 sind die Ergebnisse der Wasseraufnahme- und Wasserabgabepfung graphisch dargestellt.



T a f e l 21

Wasserabgabe von Würfeln 20 x 20 x 20 cm

Probe- würfel	Wasseraufnahme Feuchtigkeitsgehalt in Gew.% bez. auf d. Trockengewicht nach		Wasserabgabe Feuchtigkeitsgehalt in Gew.% bez. auf das Trockengewicht nach									
	künstl. Trockng.	7 Tagen	1 Tg.	3 Tg.	7 Tg.	14 Tg.	28 Tg.	42 Tg.	56 Tg.	70 Tg.	84 Tg.	98 Tg.
B 30 (Ein- korn)	0,0	24,5	18,3	16,7	13,8	11,3	8,4	6,4	5,4	4,5	4,5	4,1
		24,9	19,4	17,0	14,2	11,5	8,3	6,3	5,5	4,9	4,7	4,4
		24,3	18,8	16,7	14,5	11,4	8,6	6,7	5,5	4,9	4,7	4,3
		i.M. 24,6	18,8	16,8	14,2	11,4	8,4	6,5	5,5	4,8	4,6	4,3
B 30	0,0	25,0	17,9	15,5	12,3	9,3	7,1	5,7	4,8	3,9	3,8	3,3
		24,3	18,7	16,6	13,2	10,2	7,5	5,9	4,9	3,7	3,7	2,9
		24,2	18,2	16,2	13,2	10,5	7,5	6,3	5,1	3,9	3,9	3,0
		i.M. 24,5	18,3	16,1	12,9	10,0	7,4	6,0	4,9	3,8	3,8	3,1
B 50	0,0	19,7	16,2	15,0	13,0	10,5	8,1	6,7	6,0	5,0	5,0	4,8
		19,3	16,0	14,7	12,8	10,2	7,9	6,6	5,8	5,0	5,0	4,9
		20,6	16,4	14,7	12,5	10,6	7,9	7,1	6,1	5,2	5,0	4,7
		i.M. 19,9	16,2	14,8	12,8	10,4	8,0	6,8	6,0	5,1	5,0	4,8
B 120	0,0	7,9	7,1	6,4	5,5	4,2	3,2	2,9	2,5	2,3	2,3	2,1
		7,4	6,5	6,0	5,1	4,1	3,2	2,8	2,5	2,3	2,3	2,0
		7,2	6,1	5,6	4,6	3,6	3,0	2,7	2,4	2,1	2,1	2,0
		i.M. 7,5	6,6	6,0	5,1	4,0	3,1	2,8	2,5	2,2	2,2	2,0

Um die im Hochbau häufig auftretende Einwirkung der Feuchtigkeit von einer Seite her zu untersuchen, wurde die Wasseraufsaugfähigkeit der 4 verschiedenen Blähtonbetone ermittelt.

Dazu wurden jeweils 3 Würfel von jedem Beton so lange bei  $110^{\circ}\text{C}$  getrocknet, bis das Gewicht des einzelnen Würfels sich um nicht mehr als 2 g je Tag änderte. Nach der Bestimmung der Trockengewichte lagerten die Würfel 24 Stunden lang an der Luft und wurden im Anschluß daran 3 cm tief in Wasser gestellt. Durch einen Überlauf in den Versuchsbehältern konnte die Wasserhöhe während des Versuches konstant gehalten werden. Das aufgesaugte Wasser wurde durch Wiegen der Würfel, nach einer Abtropfzeit von jeweils 2 Minuten, ermittelt. Der Versuch erstreckte sich über einen Zeitraum von 42 Tagen. In der Tafel 23 sind die Feuchtigkeitsgehalte angegeben und in Abb. 21 diese Werte graphisch dargestellt.

Neben der Bestimmung der Gewichtszunahme wurde die Steighöhe des Wassers an den Außenflächen der Würfel nach jeder Wägung ermittelt und anschließend aus mehreren Messungen die mittlere Steighöhe festgestellt. In der Tafel 22 sind die mittleren Steighöhen in cm bei den verschiedenen Betonen für eine Versuchsdauer von  $1/4$  und 24 Stunden eingetragen. Nach 24 Stunden war ein weiteres Steigen an den Außenflächen der Würfel nicht mehr festzustellen.

T a f e l 22

Wasseraufsaugfähigkeit von Würfeln

20 x 20 x 20 cm

Versuchsdauer Stunden	Steighöhe in cm beim Beton			
	B 30 (Einkorn)	B 30	B 50	B 120
$1/4$	4,5	5,7	5,0	4,5
24	5,3	8,0	6,5	5,8



Tafel 23

Wasseraufsaugefähigkeit von Würfeln  
20 x 20 x 20 cm

Beton	Versuchsdauer	Feuchtigkeitsgehalt in Gew.% bezogen auf den trockenen Zustand bei Würfel Nr.				Feuchtigkeitsgehalt in Raum-%
		1	2	3	Mittel	
B 30 (Ein- korn)	1/4 Stunde	5,3	6,3	5,1	5,6	3,5
	1/2 "	6,3	6,7	5,5	6,2	3,9
	1 "	6,3	6,7	5,5	6,2	3,9
	3 Stunden	6,7	7,1	5,7	6,5	4,1
	7 "	6,7	7,3	6,1	6,7	4,2
	1 Tag	7,3	8,0	7,1	7,5	4,7
	3 Tage	7,5	8,8	8,0	8,1	5,2
	7 "	8,3	9,0	8,0	8,4	5,4
	14 "	9,5	11,0	9,4	10,0	6,3
	42 "	9,5	11,2	9,4	10,0	6,3
B 30	1/4 Stunde	6,2	7,1	7,2	6,8	5,6
	1/2 "	6,6	7,4	7,3	7,1	5,9
	1 "	6,9	7,7	7,5	7,4	6,0
	3 Stunden	7,2	8,2	8,4	7,9	6,6
	7 "	7,8	8,2	8,5	8,2	6,8
	1 Tag	9,0	9,1	9,9	9,3	7,7
	3 Tage	10,2	9,8	11,1	10,4	8,6
	7 "	11,4	10,6	11,7	11,2	9,3
	14 "	12,3	11,8	12,8	12,3	10,2
	42 "	12,3	11,8	12,8	12,3	10,2
B 50	1/4 Stunde	4,1	4,0	4,0	4,0	3,8
	1/2 Stunde	4,8	4,4	4,5	4,6	4,3
	1 "	5,0	4,5	4,7	4,7	4,5
	3 Stunden	5,3	4,9	5,1	5,1	4,8
	7 "	6,1	5,2	5,9	5,7	5,4
	1 Tag	7,1	6,5	7,2	6,9	6,5
	3 Tage	8,6	8,0	8,8	8,5	7,9
	7 "	9,4	8,5	9,7	9,2	8,7
	14 "	11,1	9,9	11,3	10,8	10,1
	42 "	11,1	9,9	11,3	10,8	10,1
B 120	1/4 Stunde	0,4	0,5	0,4	0,4	0,8
	1/2 "	0,7	0,8	0,6	0,7	1,2
	1 Stunde	1,1	1,0	0,8	1,0	1,7
	3 Stunden	1,2	1,2	1,0	1,1	1,9
	7 "	1,6	1,8	1,5	1,6	2,8
	1 Tag	2,4	2,6	2,3	2,4	4,2
	3 Tage	3,6	3,7	3,3	3,5	6,1
	7 "	4,2	4,4	4,1	4,2	7,3
	14 "	4,9	5,1	4,8	4,9	8,5
	42 "	4,9	5,1	4,8	4,9	8,5



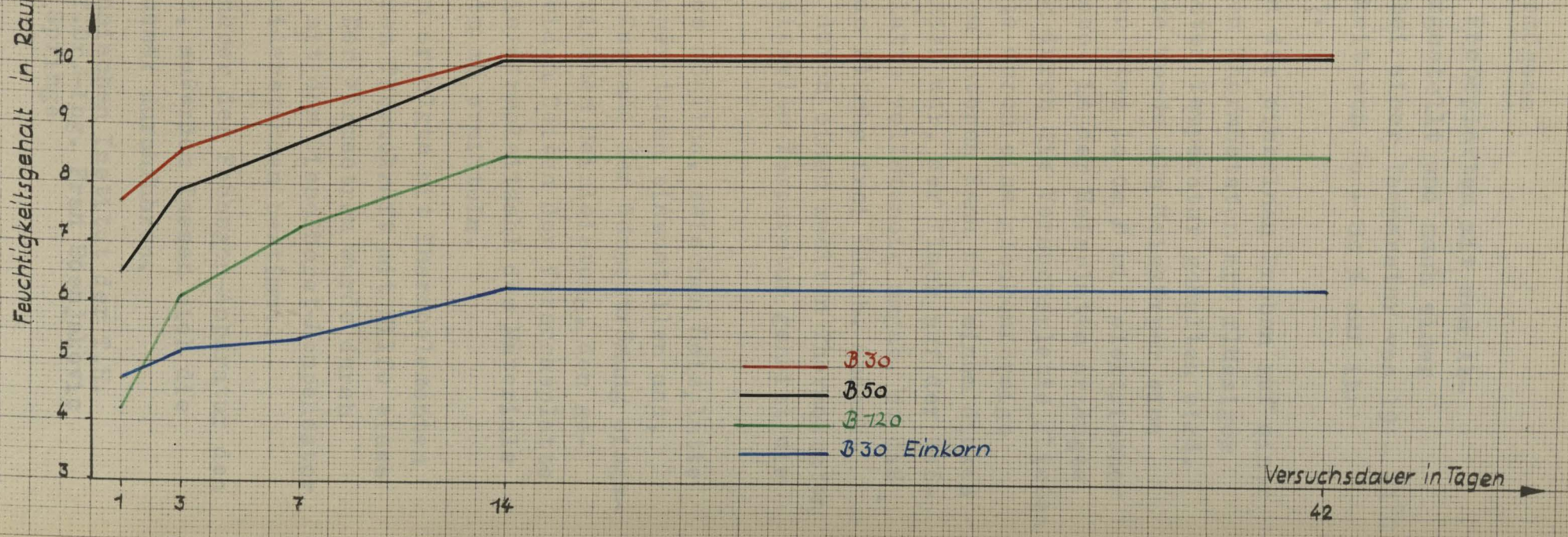
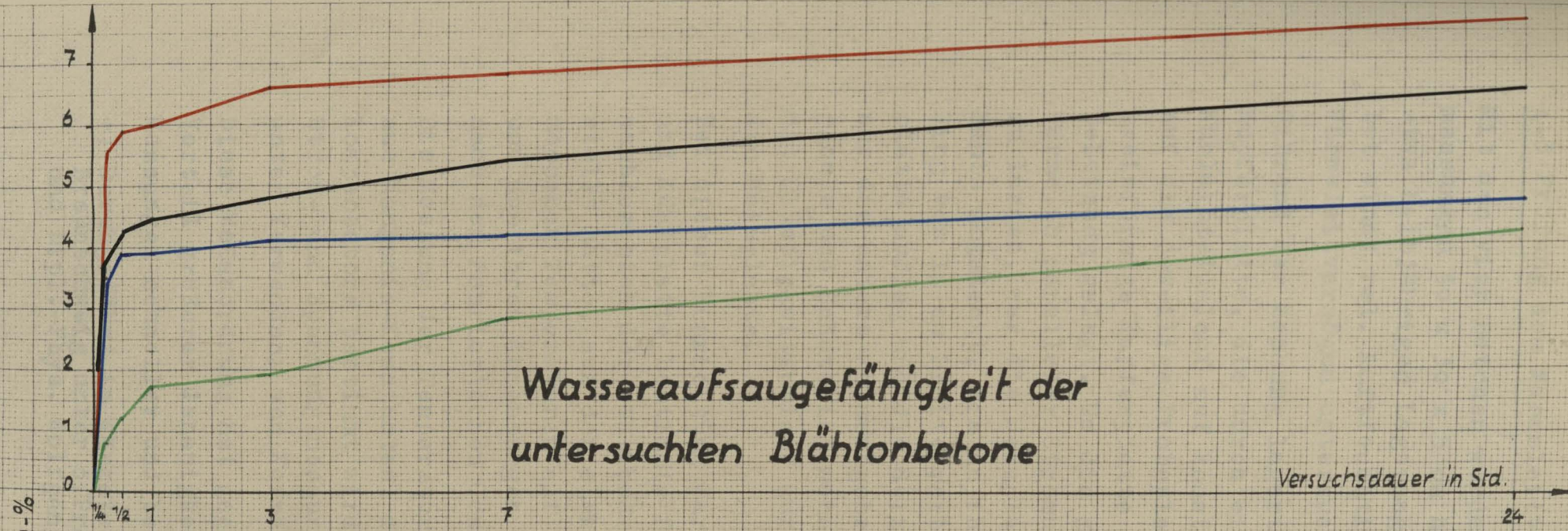


Abb. 21



#### 4.3 Prüfung des Wärmeleitvermögens<sup>+</sup>

Mit den vier Betonen wurden Probeplatten mit den Abmessungen 30 x 30 x 5 cm hergestellt und nach einer etwa halbjährigen Lagerung bei einer Temperatur von 19 - 21°C bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 70 - 80 % auf ihr Wärmeleitvermögen untersucht.

Während der Messung lagerten die einzelnen Proben auf einer Kupferplatte, die durch einen Thermostaten mit flüssigem Kühlmittelumlauf auf konstanter Temperatur gehalten wird. Auf die jeweilige Probeplatte wurde als Heizkörper eine kreisförmige Kupferplatte von etwa 10 cm  $\varnothing$  mit elektrischer Beheizung gelegt. Um die ganze, in der Heizplatte erzeugte Wärme in paralleler Strömung durch die Versuchsplatte fließen zu lassen, war die Heizplatte durch eine glockenförmige Haube abgedeckt, die an ihrem unteren Rand mit einem dicken Ring von 10 cm Breite verbunden war, der flach auf der Meßplatte auflag und die Heizplatte vollständig umgab, so daß nur die untere wärmeabgebende Fläche frei blieb. Abdeckglocke und Schutzring waren durch einen zweiten Thermostaten mit Flüssigkeitsumlauf auf dieselbe Temperatur geheizt wie die Heizplatte.

Bei dieser Einrichtung war es möglich, zwischen Heizplatte und Kühlplatte bestimmte Temperaturen einzustellen und, nachdem sich der stationäre Zustand der Wärmeströmung eingestellt hatte, aus der elektrischen Heizleistung, den gemessenen Temperaturen auf beiden Seiten der Versuchsplatte und aus ihren Abmessungen die Wärmeleitzahl des Materials nach dem Fourier'schen Gesetz zu ermitteln.

Die Messung der Temperaturen erfolgte mit Thermoelementen aus Manganin-Konstanten, deren Thermokraft mit Hilfe eines Kompensators bestimmt wird. Der Wärmestrom wurde durch Strom- und Spannungsmessung mit dem Dieselhorst-Kompensator unter Verwendung von Normalwiderständen bestimmt.

Diese Meßanordnung hat gegenüber der Poensgen-Apparatur den Vorteil größerer Genauigkeit, außerdem lassen sich die Messungen schneller und bequemer durchführen.

+) Durchgeführt im Wärmetechnischen Institut der T.H. Braunschweig unter o.Prof.Dr.-Ing. Fran Bosnjakovic und Dipl.-Phys. Wolfgang Springe

Vor und nach der Messung des Wärmeleitvermögens wurden die Versuchskörper gewogen und nach den Versuchen in einem Trockenschrank bei 65° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Aus dem sich dabei einstellenden Trockengewicht und den vorher bestimmten Gewichten ergibt sich der jeweilige Feuchtigkeitsgehalt der Versuchsplatten.

Das Wärmeleitvermögen jeder geprüften Platte wurde bei verschiedenen Temperaturen ermittelt.

Die Ergebnisse der Versuche sind in der nachfolgenden Tafel 24 zusammengestellt.

T a f e l 24

Probe- platten	B 30 (Einkorn)		B 30		B 50		B 120			
Wärmeleit- vermögen	0,165	0,171	0,269	0,276	0,344	0,362	0,504	0,512	0,530	$\frac{\text{kcal}}{\text{mhgrd}}$
b.d.mittl. Tempera- tur	25,61	31,73	25,75	31,20	25,65	31,77	24,46	30,18	37,56	°C
Anf.-Feuch- tigkeits- gehalt	2,39		3,17		6,25		0,48			Gew.% bez.a.d. Trocken- gewicht
Feuchtig- keitsge- halt nach d.Messungen	2,27		2,79		6,00		0,24			Gew.% bez.a.d. Trocken- gewicht
Raumgew.im Anl.Zustd.	653		872		1018		1609			kg/m <sup>3</sup>



#### 4.4 Prüfung auf Frostbeständigkeit

Von jedem der 4 untersuchten Betone ( B 3o Einkorn, B 3o, B 5o und B 12o) wurden 3 Würfel im Alter von 18o Tagen auf Frostbeständigkeit in Anlehnung an DIN 1o5 (Ausgabe Januar 1952) geprüft.

Die Würfel wurden bei etwa 1o5 bis 11o° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, das Trockengewicht bestimmt und anschließend nach dem Erkalten zunächst bis zu etwa 1/4 ihrer Höhe in Wasser von Raumtemperatur gelegt. Nach einer Stunde wurde das Wasser bis zur Hälfte und nach einer weiteren Stunde bis zu 3/4 der Würfelhöhe aufgefüllt. Nach Ablauf von 24 Stunden wurden die Würfel völlig unter Wasser gesetzt und nach weiteren 24 Stunden 25 mal abwechselnd dem Frost ausgesetzt und in Wasser von Zimmertemperatur wieder aufgetaut. Der Temperaturabfall im Frostraum erfolgte derart, daß die Temperatur allmählich in 4 Stunden auf -15° C fiel und diese Temperatur 2 Stunden lang gehalten wurde. Nach jedem Gefrieren blieben die Würfel 6 Stunden lang zum Auftauen in Wasser von etwa 18° C. Nach dem letzten Auftauen wurden die Würfel wiederum bei etwa 1o5 - 11o° C getrocknet, das Trockengewicht bestimmt und nach einer anschließenden 14-tägigen Luftlagerung auf Druckfestigkeit geprüft.

Zusätzlich zu diesen Versuchen wurden noch weitere 3 Würfel von jedem Beton im gleichen Alter geprüft. Der einzige Unterschied gegenüber dem oben durchgeführten Versuch bestand darin, daß die Würfel nicht 25 mal 6 Stunden dem Frost ausgesetzt wurden, sondern während dieser Zeit in der Luft bei Zimmertemperatur lagerten.

Durch diesen Vergleichsversuch sollte der durch das 25 malige Gefrieren hervorgerufene Druckfestigkeitsabfall ermittelt werden. In der folgenden Tafel 25 sind die Trockengewichte der 24 geprüften Würfel vor und nach dem Versuch sowie die Gewichtsverluste durch die 2 verschiedenen Wechsellagerungen eingetragen.

T a f e l 25

Gewichtsverluste der Würfel bei den Wechsellagerungen  
Frost-Wasser und Zimmertemperatur - Wasser

Beton	Würfel Nr.	25 malige Wechsellagerung Frost - Wasser		25 malige Wechsellagerung Zimmertemperatur - Wasser	
		Trockengewichte der Würfel in kg		Trockengewichte der Würfel in kg	
		v.d. Versuch	n.d.Versuch	v.d.Versuch	n.d. Versuch
B 30 (Ein- korn)	1	5,18	5,15	5,12	5,11
	2	5,14	5,12	5,17	5,17
	3	5,18	5,16	5,16	5,15
Mittel		5,17	5,14	5,15	5,14
B 30	1	6,72	6,54	6,80	6,80
	2	6,71	6,22	6,66	6,65
	3	6,71	6,41	6,62	6,60
Mittel		6,72	6,39	6,69	6,68
B 50	1	7,66	7,65	7,62	7,60
	2	7,66	7,65	7,56	7,55
	3	7,48	7,47	7,58	7,57
Mittel		7,60	7,59	7,59	7,57
B 120	1	13,50	13,50	14,03	14,03
	2	13,79	13,79	13,68	13,68
	3	14,04	14,04	13,85	13,85
Mittel		13,78	13,78	13,85	13,85

Bei dem Frostversuch wurde folgendes festgestellt:

Nach dem 8. Versuch bröckelten an dem Beton 30 (Einkorn) an den Ecken und Kanten einzelne Körner ab.

Nach dem 12. Versuch konnten diese leichten Zerstörungen auch an dem B 30 beobachtet werden.

Nach dem 15. Versuch traten stärkere Zerstörungen an den Ecken des B 30 auf, die nach dem 16. Versuch auch auf die Kanten übergriffen.

An den Betonen 50 und 120 wurden keine Frostschäden beobachtet.

Bei den Würfeln, die abwechselnd in Zimmertemperatur und im Wasser lagerten, traten keine Zerstörungen auf.



Abb. 22 Blähtonbeton B 30 (Einkorn)

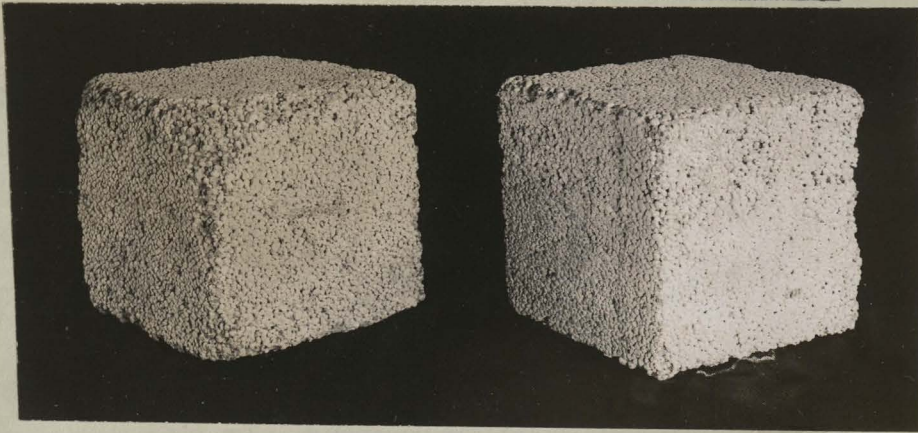


Abb. 23 Blähtonbeton B 30

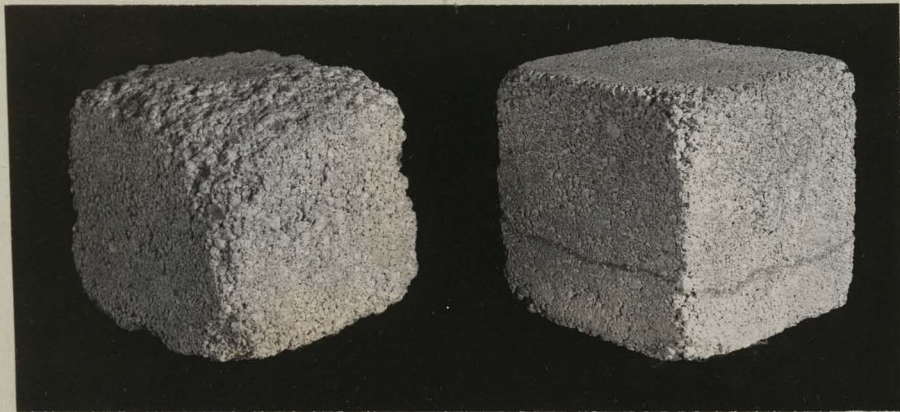


Abb. 24 Blähtonbeton B 50

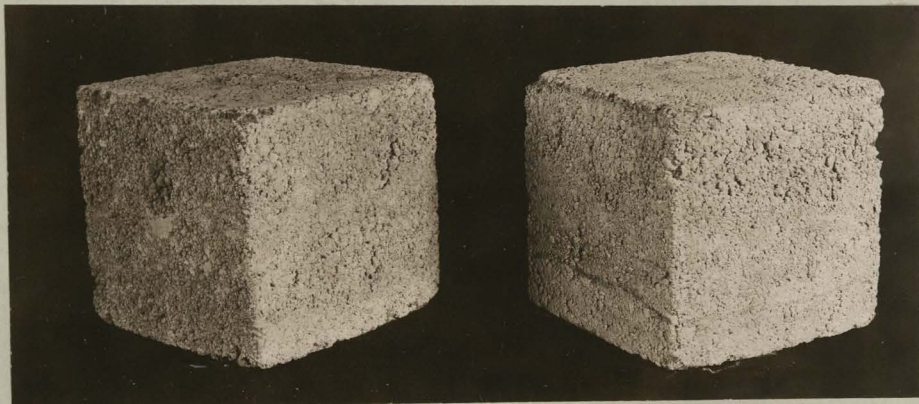
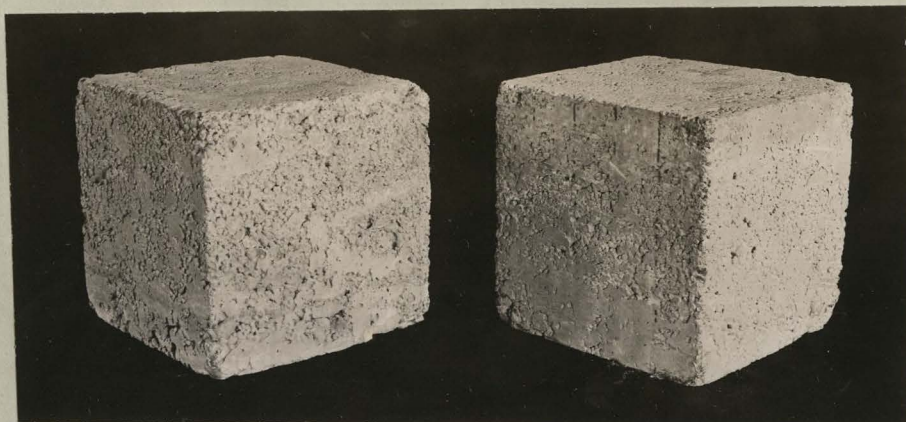


Abb. 25 Blähtonbeton B 120





Die Abb. 22, 23, 24 und 25 zeigen jeweils 2 Würfel der 4 untersuchten Betone. Die linken Würfel gehören zu der Gruppe, die einer 25 maligen Wechsellagerung Frost - Wasser ausgesetzt war. Die rechten Würfel wurden 25 mal abwechselnd in Luft von Zimmertemperatur und im Wasser gelagert.

Nach den Versuchen wurden die Würfel nach einer 14 tägigen Luftlagerung auf Druckfestigkeit geprüft. In der Tafel 26 sind die Raumgewichte und die Druckfestigkeitswerte der etwa 220 Tage alten Würfel aufgeführt.

Tafel 26

Raumgewichte und Druckfestigkeiten bei den Wechsel-  
lagerungen Frost-Wasser und Zimmertemperatur-  
Wasser

Beton	Würfel Nr.	25 malige Wechsellagerung Frost - Wasser		25 malige Wechsellagerung Zimmertemperatur-Wasser	
		Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>	Druckfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>	Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup>	Druckfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup>
B 30 (Ein- korn)	1	~ 650	~ 21	650	23
	2	~ 650	~ 21	660	24
	3	~ 650	~ 23	650	25
Mittel	-	~ 650	~ 22	650	24
B 30	1	~ 825	~ 28	860	40
	2	~ 780	~ 25	850	43
	3	~ 810	~ 29	830	39
Mittel	-	~ 805	~ 27	850	41
B 50	1	970	68	960	67
	2	970	65	960	84
	3	950	57	970	71
Mittel	-	960	63	960	74
B 120	1	1700	164	1770	172
	2	1740	190	1740	170
	3	1780	180	1760	200
Mittel	-	1740	178	1760	181



#### 4.5 Bestimmung der Elastizitätsmodule

An den 4 untersuchten Betonen wurden die Elastizitätsmodule durch Druckbeanspruchung bei einem Prüfalter von 28 Tagen an je 3 Prüfkörpern 34 x 10 x 15 cm bestimmt. Die Meßlänge zur Bestimmung der Formänderungen betrug 300 mm.

Vor der Prüfung erfolgte eine planparallele Abgleichung der Druckflächen der Prüfkörper mit Zementmörtel

1 : 1 n.Rtl. Belastet wurde bei den Betonen B 30 (Einkorn) und B 30 im Bereich von 0 - 15 kg/cm<sup>2</sup>, bei den Betonen B 50 und B 120 im Bereich von 0 - 21 kg/cm<sup>2</sup> in mehreren Laststufen. Zehn Sekunden nach Erreichen der jeweiligen Laststufe wurden die Längenänderungen mit 2 Meßuhren (Meßgenauigkeit 10<sup>-3</sup> mm) festgestellt, und nach anschließender Entlastung die bleibende Verformung bestimmt.

Der Berechnung der E-Module wurde die federnde Zusammen-drückung zugrundegelegt.

Die Tafel 27 enthält die festgestellten Werte, die jeweils als Mittel aus 3 gut zusammenliegenden Einzelwerten errechnet sind.

In der Abb. 26 wurden die Elastizitätsmodule der Tafel 27 graphisch dargestellt.

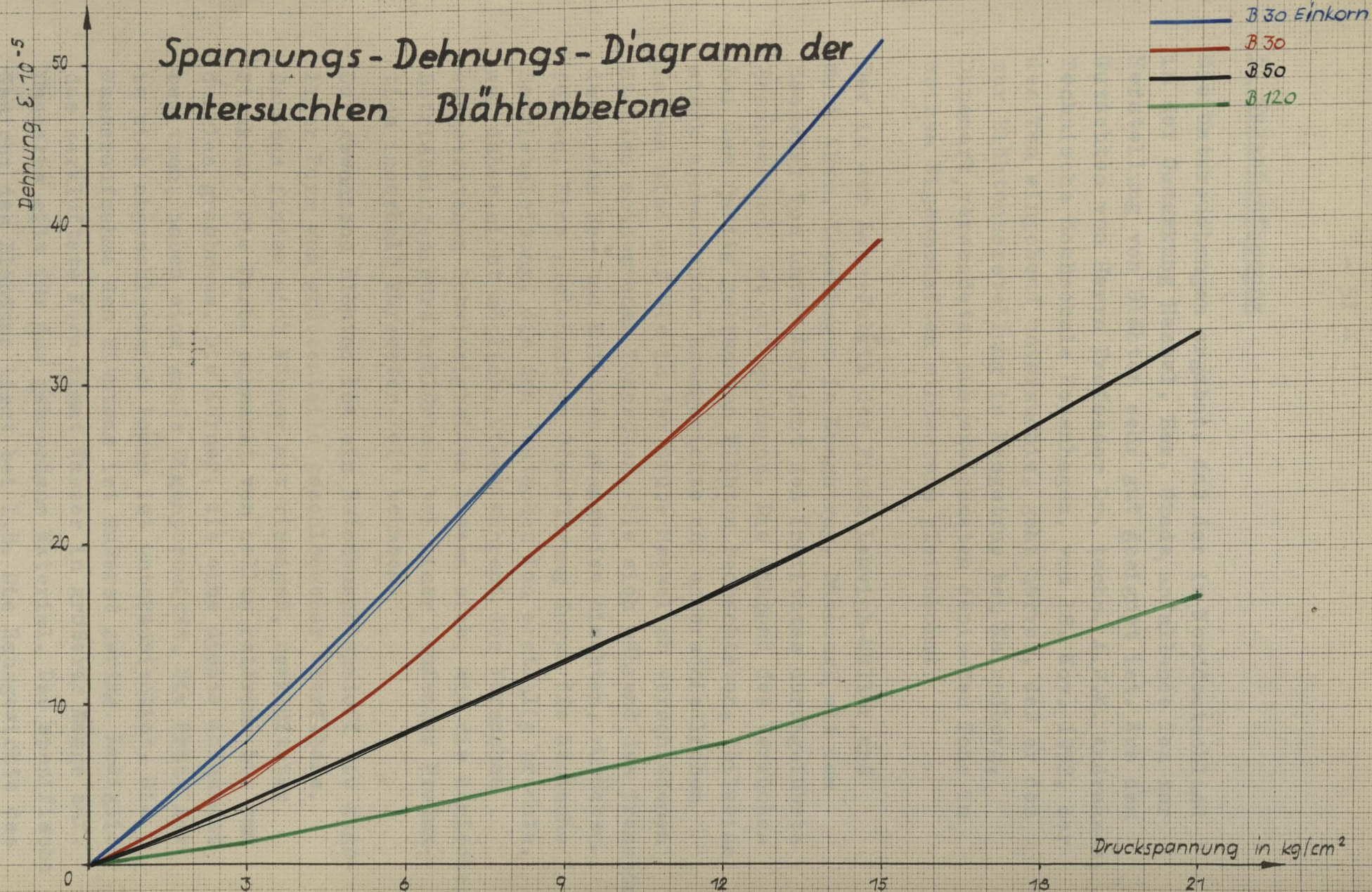
Tafel 27  
(s.S. 49)

Tafel 27

Elastizitätsmodule

Belastungs- bereich kg/cm <sup>2</sup>	Zusammendrückung $\Delta l$ 10 <sup>-3</sup> mm			$\epsilon$ federnd 10 <sup>-5</sup>	E-Modul kg/cm <sup>2</sup>
	gesamt	bleibend	federnd		
B 30 (Einkorn)					
o - 3	24,3	1,2	23,1	7,70	39000
o - 6	57,2	3,0	54,2	18,10	33200
o - 9	91,3	3,3	88,0	29,30	30700
o - 12	124,0	4,0	120,0	40,00	30000
o - 15	157,3	4,3	153,0	51,00	29400
B 30					
o - 3	15,7	0,6	15,1	5,04	59500
o - 6	39,7	2,5	37,2	12,40	48300
o - 9	67,5	3,3	64,2	21,40	42100
o - 12	93,3	4,7	88,6	29,60	40600
o - 15	123,8	6,3	117,5	39,10	38300
B 50					
o - 3	11,6	1,0	10,6	3,51	85700
o - 6	26,0	1,4	24,6	8,20	73200
o - 9	40,3	2,0	38,3	12,80	70500
o - 12	54,7	2,0	52,7	17,60	68500
o - 15	69,7	3,0	66,7	22,20	67700
o - 18	86,3	3,3	83,0	27,70	65200
oo - 21	103,5	4,3	99,2	33,10	63600
B 120					
o - 3	5,3	1,3	4,0	1,34	224000
o - 6	12,3	2,0	10,3	3,43	175000
o - 9	19,0	2,3	16,7	5,57	162000
o - 12	27,3	4,0	23,3	7,77	155000
o - 15	37,3	4,6	32,7	10,90	138000
o - 18	47,6	6,0	41,6	13,90	130000
o - 21	57,6	6,7	50,9	17,30	122000







## 5. Zusammenfassung

Die Untersuchungen ergaben, daß der in Norddeutschland in der Gemarkung Heesel, Bez. Stade, anfallende Ton zur Herstellung von Blähton sehr gut geeignet ist. Aus dem Gutachten von Herrn Professor Dr. techn. A.H.M. Andreassen, Technische Hochschule Kopenhagen, vom 18. Nov. 1952, der den Ton eingehend untersuchte, geht hervor, daß er dem zur Blähtonherstellung in Kongstrup bei Kalundborg, Dänemark, verwendeten ausgezeichneten dänischen Tone in seinen Eigenschaften mindestens gleichkommt.

Der in der Leca-Fabrik der Firma Lemvigh-Müller und Munk Akts. Kopenhagen in Kongstrup, Dänemark, mit dem Heeseler Ton unter Aufsicht des Institutes durchgeführte Brennversuch ist gut gelungen. Die während des Versuches bei dem fertig gebrannten Blähton beobachteten, teilweise stark schwankenden Raumgewichte und unterschiedlichen Farben sind auf die in der Grube Heesel an verschiedenen Stellen entnommenen Tonproben, die sich während des Transportes durch das Be- und Entladen zwangweise mischten, zurückzuführen. Eine gleichmäßige Ofenführung durch die dänische Betriebsleitung, die den deutschen Ton erstmalig brannte, war daher nicht möglich. Diese während des Versuches aufgetretenen Schwierigkeiten lassen sich, wie die dänischen Betriebsingenieure erklärten, bei einer laufenden Produktion innerhalb kürzester Zeit beheben.

Der gewonnene Blähton ist ein Betonzuschlagstoff von kugelförmiger Form von größtenteils geschlossener Oberfläche. Daneben finden sich Körner mit rissiger, zerklüfteter Struktur. Die Farbe schwankt vom hellen rotbraun bis zum dunklen graubraun. Die Körner, die eine dichte Außenhaut besitzen, haben eine große Eigenporosität. Die Größe der in sich abgeschlossenen Poren ist unterschiedlich. Die Wasseraufnahme des Blähtons ist äußerst gering. Lediglich das zerklüftete Korn nimmt Wasser in größerer Menge auf. Dasselbe gilt für das gebrochene Material. Das spezifische Gewicht des Blähtons liegt bei 1,8. Die Raumgewichte des Blähtons fallen mit zunehmender Korngröße sehr stark ab.



Die verhältnismäßig hohen Raumgewichte der Korngruppen 0 - 1 und 1 - 3 mm sind auf die geringe Eigenporosität dieser Korngruppen zurückzuführen. Nach den Untersuchungsergebnissen gehört der Blähton zu den leichtesten Betonzuschlagstoffen. Er hat etwa dieselben Raumgewichte wie poröse Hochofenschlacke, Blähschiefer, Naturbims, Synthoporit und Thermosit. Nach Angabe der dänischen Betriebsführung läßt sich das Raumgewicht des aus deutschem Ton erbrannten Blähtons noch erheblich verringern. Der Blähton fiel im wesentlichen in den Korngruppen 1 - 3, 3 - 7 und 7 - 15 mm an. Der Anteil der Körner in der Größe von 0 - 1 mm und  $>15$  mm war sehr gering. Betonschädliche Bestandteile sind nicht vorhanden.

Zu den Ergebnissen der Druckfestigkeitsversuche ist folgendes auszuführen:

#### 1. Einkornbeton

Die Versuche wurden mit steifen Mischungen durchgeführt, um einen zu flüssigen Zementleim, der durch Abtropfen von den Körnern die Hohlräume füllt und dadurch den Porenraum verringert, zu vermeiden. Das Herstellen der Mischungen und die Verarbeitung des fertigen Blähtonbetons bereitete keine Schwierigkeiten. Lediglich von der Bestimmung des Ausbreitmaßes mußte abgesehen werden, da schon nach den ersten Schlägen die verhältnismäßig runden Blähtonkörner auseinanderrollten. Der Eindringversuch wiederum kann nicht durchgeführt werden, da die Körner zerschlagen.

Die Rohwichten der Einkornblähtonbetone fallen mit wachsender Korngröße. Bei einem Zementgehalt von  $150 \text{ kg/m}^3$  fert. Bet. betragen die Raumgewichte des Betons nach 28 Tagen:

Einkornbeton 0 - 3 mm etwa  $900 \text{ kg/m}^3$

Einkornbeton 3 - 7 mm etwa  $800 \text{ kg/m}^3$

Einkornbeton 7 - 15 mm etwa  $700 \text{ kg/m}^3$

Die Wasserzementverhältnisse werden mit wachsender Korngröße und zunehmendem Zementgehalt geringer. Sie sind etwa gleich groß wie beim Einkorn-Ziegelsplittbeton.

Die höchsten Festigkeiten bei 100, 150 und  $200 \text{ kg Zement/m}^3$  fert. Bet. erreicht der Einkornbeton 3-7 mm. Die geringsten Druckfestigkeiten waren beim Einkornbeton 7 - 15 mm festzustellen.

Die Herstellung der Betongüte B 30 ist sowohl mit dem Einkornbeton 0 - 3 mm (Zementgehalt  $200 \text{ kg/m}^3$  fert. Bet./Raumgewicht etwa  $900 \text{ kg/m}^3$ ) als auch mit dem Einkornbeton 3-7 mm (Zementgehalt  $150 \text{ kg/m}^3$  fert. Bet./Raumgewicht etwa  $800 \text{ kg/m}^3$ ) möglich. Ein Vergleich der Druckfestigkeiten von Einkorn-Beton aus verschiedenen Leichtbetonzuschlagstoffen ergibt, daß die Druckfestigkeiten der Einkornbetone aus Blähton bei gleichen Zementgehalten, trotz größtenteils wesentlich niedrigeren Raumgewichten sehr günstig liegen.

## 2. Beton mit geschlossenem Gefüge

Wie beim Einkornbeton wurden auch diese Versuche mit steifen Mischungen, die sich zur maschinellen Herstellung sofort entschaltbarer Mauersteine eignen, durchgeführt. Die Korngruppen 0-0,2 mm und 0,2 mm - 1 mm, die nicht in genügender Menge vorhanden waren, wurden durch Natursand ersetzt. Dies war nötig, da sich die Standfestigkeit sofort nach der Herstellung entschalteter Hohlblocksteine, wie bei Versuchen in einem Betonsteinwerk beobachtet werden konnte, dadurch wesentlich erhöhte. Die Herstellung und Verarbeitung des Blähtonbetons mit geschlossenem Gefüge kann in der gleichen Art wie bei anderen Leichtbetonzuschlagstoffen erfolgen. Die exakte Bestimmung des Ausbreit- bzw. Eindringmaßes war auch hier, nicht möglich.

Die Rohwichten dieser Blähtonbetone steigen mit wachsendem Natursandanteil. Bei einem Zementgehalt von  $150 \text{ kg/m}^3$  fert. Bet. betragen die Raumgewichte nach 28 Tagen bei dem Beton der Versuchsreihe

B I	(10 Gew.-% Nat.Sand)	etwa	$850 \text{ kg/m}^3$
B II	(20 Gew.-% Nat.Sand)	etwa	$950 \text{ kg/m}^3$
B III	(30 Gew.-% Nat.Sand)	etwa	$1050 \text{ kg/m}^3$

Die Wasserzementverhältnisse werden mit wachsendem Natursandanteil, also mit zunehmender Feinheit der Sieblinien, größer.

Mit wachsendem Natursandanteil steigen bei gleichen Zementgehalten die Druckfestigkeiten. Die höchsten Druckfestigkeiten werden mit der feinsten Sieblinie (B III) erreicht. Bei einem Vergleich der Druckfestigkeitswerte der Ver-



suchsreihe B I ist festzustellen, daß bei einem Zementgehalt von  $150 \text{ kg/m}^3$  die höchsten Festigkeiten anscheinend schon erreicht sind. Auch ein Zementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$  führt zu keiner Steigerung der Druckfestigkeit mehr. Der Grund dafür ist, wie bei den Druckversuchen beobachtet wurde, die Überschreitung der Eigenfestigkeit der Blähtonkörner. Bei den Versuchsreihen B II und B III waren bei höheren Zementgehalten als  $300$  bzw.  $200 \text{ kg/m}^3$  keine Steigerungen der Druckfestigkeiten mehr zu erreichen. Die bei diesen beiden Versuchsreihen im Vergleich zur Versuchsreihe B I erhaltenen höheren Druckfestigkeiten sind auf die größeren Natursandzusätze und auf den geringeren Anteil an Blähtonkorn  $7 - 15 \text{ mm}$ , das bei den Druckversuchen zuerst zerstört wurde, zurückzuführen.

Nach den Versuchen ist die Herstellung einer Betongüte B 30 mit den Sieblinien.

B I	(Zementgehalt $150 \text{ kg/m}^3$ )	fert. Bet./Raumgewicht etwa $850 \text{ kg/m}^3$ )
B II	(Zementgehalt $150 \text{ kg/m}^3$ )	fert. Bet./Raumgewicht etwa $950 \text{ kg/m}^3$ )
B III	(Zementgehalt $100 \text{ kg/m}^3$ )	fert. Bet./Raumgewicht etwa $1000 \text{ kg/m}^3$ )

möglich.

Die Betongüte B 50 ist mit den Sieblinien

B II	(Zementgehalt $300 \text{ kg/m}^3$ )	fert. Bet./Raumgewicht etwa $1100 \text{ kg/m}^3$ )
B III	(Zementgehalt $200 \text{ kg/m}^3$ )	fert. Bet./Raumgewicht etwa $1150 \text{ kg/m}^3$ )

herzustellen.

Ein Vergleich dieser Versuche mit dänischen Untersuchungen ergibt eine gute Übereinstimmung. Die Druckfestigkeiten von Beton aus Blähton bzw. aus einem Gemisch aus Sand und Blähton ergaben dort bei Raumgewichten von  $500$  und  $1000 \text{ kg/m}^3$  bei wirtschaftlichem Zementverbrauch 28 Tage-Druckfestigkeiten von  $20$  und  $50 \text{ kg/cm}^2$ . Auch die Versuche von Hummel (Literatur s.S. 1) und von Schneevoigt (Literatur s.S. 1) ergaben ähnliche Werte.

### 3. Versuche mit gerütteltem Beton

Die Versuche wurden mit einem Einkornbeton 3-7 mm und einem Beton mit geschlossenem Gefüge (Versuchsreihe B II) bei gleichem Zementgehalt von  $150 \text{ kg/m}^3$  durchgeführt. Die beim Rütteln (20 sec) gegenüber der Verarbeitung durch Stochern erhaltenen Druckfestigkeitssteigerungen betrugen beim Einkornbeton etwa 20%, beim Beton mit geschlossenem Gefüge etwa 10%.

### 4. Versuche mit Beton aus Kiessand mit Blähtonzusatz

Die Versuche ergaben, daß mit abnehmendem Blähtonzusatz die Druckfestigkeiten steigen. Bei Raumgewichten um  $1500 \text{ kg/m}^3$  (Zementgehalt  $400 \text{ kg/m}^3$  Blähtonzusatz 3 - 7 mm 18% und 7 - 15 mm 22%) werden Druckfestigkeiten von über  $100 \text{ kg/cm}^2$  erreicht. Erhöht man die Raumgewichte auf etwa  $1800 \text{ kg/m}^3$  (Zementgehalt zwischen 300 und  $400 \text{ kg/m}^3$  Blähtonzusatz 3 - 7 mm 18%), dann können Betongüten von B 120 und B 160 hergestellt werden.

### 5. Sonderversuche

Die Schwindmaße der untersuchten Blähtonbetone sind im Vergleich zu anderen Leichtbetonen gering. Bei einer 7-tägigen Lagerung der Probekörper unter feuchten Tüchern mit anschließender 170 Tage langen Lagerung an der Luft betrug das größte gemessene Schwindmaß 0,39 mm/m.

Die Wasseraufnahme von Blähtonbeton beträgt

beim B 30 Einkorn	16 Volumen-%
beim B 30 mit geschlossenem Gefüge (Blähton mit Natursandzusatz)	20 Volumen-%
beim B 50 mit geschlossenem Gefüge (Blähton mit Nat.Zusatz)	19 Volumen-%
beim B120 mit geschlossenem Gefüge (Kiessand mit Blähtonzusatz)	13 Volumen-%

Bei einem Gesamtporenraum

beim B 30 (Einkorn)	von 68 %
beim B 30	von 62 %
beim B 50	von 57 %
beim B120	von 35 %

bleiben demnach bei der Wasserlagerung

beim B 30 (Einkorn)	76 %
beim B 30	68 %
beim B 50	67 %
beim B 120	63 %



des Porenraumes wasserfrei. Nach diesen Ergebnissen ist die Wasseraufnahme der untersuchten Blähtonbetone als gering zu bezeichnen. Die Wasserabgabe erfolgt verhältnismäßig langsam. Das Wasseraufsaugevermögen der vier Blähtonbetone ist ebenfalls gering.

Die ermittelten Wärmeleitzahlen liegen im Größenbereich der bei den verschiedenen Raumgewichten zu erwartenden Werte.

Die Blähtonbetone mit einer Druckfestigkeit von  $< 50 \text{ kg/cm}^2$  (Raumgewicht unter  $1000 \text{ kg/m}^3$ ) zeigten nach 25 maligem Gefrieren bei minus  $15^\circ \text{C}$  stärkere Beschädigungen. Die Blähtonbetone mit Druckfestigkeiten  $\geq 50 \text{ kg/cm}^2$  (Raumgewicht über  $1000 \text{ kg/m}^3$ ) bestanden den oben beschriebenen Frostbeständigkeitsversuch nach DIN 105, Ausgabe Januar 1952. Bei Verwendung eines ausreichend wasserdichten Putzes können Blähtonbetone der erstgenannten Art ohne weiteres als Außenwände Verwendung finden.

Der E-Modul der untersuchten Blähtonbetone liegt im Bereich der für Leichtbetone zu erwartenden Werte. Im Vergleich zur Druckfestigkeit zeigen sie einen verhältnismäßig niedrigen E-Modul und demnach ein elastisches Verhalten.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß der aus deutschem Ton gebrannte Blähton als Leichtbetonzuschlagstoff sehr gut geeignet und nach den vorliegenden Versuchsergebnissen dem dänischen Blähton gleichwertig ist.